



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN Y
MEDIO AMBIENTE

CEDEX

CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

INFORME TÉCNICO

para

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

Secretaría de Estado de Medio Ambiente

Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural

ASISTENCIA TÉCNICA EN LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DE VERTIDOS LÍQUIDOS Y DE ACTUACIONES EN EL MEDIO MARINO

AVANCE

UMBRALES DE TOLERANCIA AL INCREMENTO DE SALINIDAD DE DIVERSAS ESPECIES MARINAS

TOMO ÚNICO

Clave CEDEX: 20-409-5-001

Madrid, diciembre de 2012

Centro de Estudios de Puertos y Costas



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN Y
MEDIO AMBIENTE



TITULO: ASISTENCIA TÉCNICA EN LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DE
VERTIDOS LÍQUIDOS Y DE ACTUACIONES EN EL MEDIO MARINO

AVANCE

**UMBRALES DE TOLERANCIA AL INCREMENTO DE SALINIDAD
DE DIVERSAS ESPECIES MARINAS**

TOMO ÚNICO

CLIENTE: **Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente**
Secretaría de Estado de Medio Ambiente
Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural

EL PRESENTE INFORME CONSTITUYE UN DOCUMENTO OFICIAL DE ESTE TRABAJO Y, DE ACUERDO CON LAS NORMAS GENERALES DEL ORGANISMO, SU ENTREGA SUPONE EL CUMPLIMIENTO DE LAS ACTUACIONES TÉCNICAS DEL MISMO REFERENTES A LA MATERIA OBJETO DEL INFORME.

VALIDEZ OFICIAL

VISTO EL CONTENIDO DEL INFORME Y SIENDO ACORDE CON LAS CLAUSULAS DEL CONVENIO DE COLABORACION CORRESPONDIENTE, SE PROPONE AUTORIZAR SU EMISIÓN.

EL DIRECTOR DEL CENTRO DE ESTUDIOS DE PUERTOS Y COSTAS

Fdo. José María Grassa Garrido

AUTORIZA LA EMISIÓN DEL INFORME:

Madrid, a 12 de diciembre de 2012

EL DIRECTOR DEL CEDEX

Fdo. Mariano Navas Gutiérrez



SÓLO SON INFORMES OFICIALES DEL CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS (CEDEX) LOS REFRENDADOS POR SU DIRECCIÓN.



INDICE

1. ANTECEDENTES Y OBJETO..... 1

2. INTRODUCCIÓN..... 2

2.1 CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO DEL EFLUENTE CUANDO SE VIERTE AL MAR..... 2

2.2 REGULACIÓN DE LOS CAMBIOS DE SALINIDAD EN EL MEDIO DE LOS ORGANISMOS MARINOS 3

2.3 NORMATIVA PARA LA REGULACIÓN DEL INCREMENTO DE SALINIDAD EN EL MEDIO MARINO 4

3. OBJETIVOS DEL INFORME..... 6

4. METODOLOGÍA..... 7

4.1 BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA 7

4.2 REVISIÓN DE ARTÍCULOS 10

4.3 DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS Y RESUMEN DE RESULTADOS..... 11

4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS..... 14

5. ANÁLISIS DEL EFECTO DEL INCREMENTO DE SALINIDAD EN ORGANISMOS MARINOS 17

5.1 FANERÓGAMAS MARINAS..... 17

5.1.1 *Posidonia oceanica* 17

5.1.2 *Cymodocea nodosa*..... 28

5.1.3 *Otras fanerógamas*..... 36

5.2 MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS..... 41

5.2.1 *Moluscos*..... 41

5.2.2 *Crustáceos*..... 52

5.2.3 *Equinodermos*..... 62

5.3 PECES..... 67

5.4 ALGAS MARINAS..... 75

5.5 OTROS ESTUDIOS 89

6. RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 93

6.1 RESUMEN..... 93

6.2 CONCLUSIONES 95

6.3 RECOMENDACIONES..... 100

ANEJO I: Listado de referencias bibliográficas

ANEJO II: Cálculo del incremento de salinidad del efluente y de la dilución necesaria para cumplir los criterios de calidad

1. ANTECEDENTES Y OBJETO

La Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural (DGCEAMN), bajo la supervisión de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA), tiene entre sus competencias las funciones que se detallan en el Real Decreto 1130/2008, de 4 de julio.

Para el cumplimiento de estas funciones, y a través de sucesivos instrumentos administrativos, la DGCEA ha venido contando con la colaboración del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), mediante el encargo de la realización de tareas de asistencia técnica, investigación aplicada y desarrollo tecnológico en las materias de su competencia.

El 6 de junio de 2009, se firmó un acuerdo entre la DGCEAMN y el CEDEX para la Encomienda de Gestión de trabajos de asistencia técnica, investigación y desarrollo tecnológico en materia de su competencia.

Como parte de las actividades a realizar por el CEDEX derivadas de dicho Acuerdo de Encomienda de Gestión, se encuentra la actuación nº 7, denominada "Asistencia Técnica en la Evaluación de Impacto Ambiental de vertidos líquidos y de actuaciones en el medio marino".

Entre las tareas a realizar dentro de esta actuación se incluye la tarea 1, relativa a la "Redacción de informes de evaluación del seguimiento ambiental y elaboración de informes de apoyo técnico a las Declaraciones de Impacto Ambiental (DIAs) de estaciones desaladoras de agua de mar".

Enmarcada en esta tarea, el 30 de octubre de 2012, se recibió en el CEDEX por parte de la DGCEAMN una solicitud de informe del ESTUDIO SOBRE UMBRALES DE TOLERANCIA AL INCREMENTO DE SALINIDAD DE DIVERSAS ESPECIES MARINAS basándose en una exhaustiva revisión bibliográfica que permite conocer el estado de avance en el que se encuentran los estudios relacionados con el efecto del incremento de salinidad en los distintos organismos marinos que pudieran verse afectados por un vertido de salmuera procedente de una planta desaladora.

El objeto del presente informe, que se enmarca en la citada actuación de la Encomienda, es dar respuesta a la solicitud de la DGCEA.

2. INTRODUCCIÓN

Antes de pasar al tema principal del presente informe y con el objeto de facilitar su comprensión, conviene repasar algunos aspectos de los vertidos al mar de las plantas desaladoras.

Dado que desde hace muchos años las desaladoras importantes que se construyen en España son siempre de ósmosis inversa, en adelante nos referiremos exclusivamente a este tipo de desaladoras.

2.1 Características y comportamiento del efluente cuando se vierte al mar

Los contaminantes que pueden ir asociados a los vertidos líquidos de las plantas desaladoras de forma permanente o periódica se pueden clasificar en: a) sustancias aportadas por el agua de alimentación, que al ser rechazadas por los filtros o las membranas terminan devolviéndose al mar aunque con concentraciones más elevadas y b) sustancias añadidas durante el proceso con distintos fines como floculantes, biocidas, antiincrustantes, etc.

Las sustancias añadidas están presentes en cantidades más pequeñas, pero al ser ajenas al medio, pueden tener un mayor impacto potencial; por ejemplo, los bisulfitos que se emplean a veces como inhibidores del crecimiento biológico consumen todo el oxígeno disuelto del efluente. Actualmente es práctica habitual recoger en un tanque las aguas resultantes de dicha operación y verterlas poco a poco mezcladas con el efluente procedente del rechazo de las membranas.

Por tanto la componente de las aguas de rechazo debida a las sustancias aportadas por el agua de alimentación es en principio la menos preocupante, sobre todo cuando se vierte al mismo medio de donde se extrae el agua (como sucede cuando el agua se toma del mar) ya que no se añade ninguna carga contaminante al sistema. Lo que hay que tener en cuenta son los posibles impactos que se puedan producir como consecuencia de que se devuelven con concentraciones más elevadas. La concentración de las sustancias rechazadas por las membranas, como por ejemplo, las sales, aumentan en la misma proporción que la relación entre el caudal de toma y el caudal de rechazo.

Actualmente en la mayoría de las desaladoras de agua de mar el proceso de desalación se realiza en una única etapa en la que el agua salada de la toma (caudal influente), tras el paso por las membranas de ósmosis inversa, se divide en dos caudales efluentes: el agua producto (aproximadamente un 45% en el estado actual de la tecnología de las membranas) y el agua de rechazo (el 55% restante). Sin embargo, hay casos en los que se somete a una nueva etapa de ósmosis inversa, bien el agua producto o bien el agua de rechazo. Lo primero se hace cuando, con el objetivo de cumplir con los requerimientos del anexo I (Parámetros y valores paramétricos) del R.D. 140/2003 por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, hay que reducir aún más la concentración de determinadas sustancias en el agua producto, por ejemplo, el boro. Lo segundo, cuando se desea aumentar el rendimiento de la planta. Lo primero hace que aumente la fracción de caudal influente que se devuelve al mar y por lo tanto, que sea menor el índice de conversión. Lo segundo produce el efecto contrario.

En resumen, los índices de conversión de las plantas desaladoras de agua de mar suelen oscilar entre un 40% y un 55%, lo que se traduce en salinidades relativas de entre 1,67 y 2,22 (excesos relativos de salinidad de entre 0,67 y 1,22). Para una salinidad del agua de captación de 37,5 psu,¹ típica del Mediterráneo, esto supone un efluente con salinidades comprendidas entre 62,5 y 83,3 psu.

Cuando este efluente llega al mar, su energía cinética provoca turbulencias que producen un rápido mezclado parcial con agua del medio receptor incluso si éste está en calma (campo cercano). Además, si el vertido se realiza alejado del fondo o si se hace de manera que se formen chorros ascendentes, la energía potencial debida a la mayor densidad del efluente también contribuye a la creación de turbulencia, ya que hace que la mezcla se dirija hacia el fondo.

Cualquiera que sea la forma en la que se realiza el vertido, tras la fase de intensa turbulencia generada por la descarga llega otra de tranquilización en la que las diferentes masas de agua, cada una con su correspondiente grado de dilución, se van colocando sobre el fondo de forma estratificada según su densidad. A partir de este momento empieza la fase de campo lejano en la que la dilución se produce lentamente por la incorporación de agua del medio a través de la interfaz. Esta capa hiperdensa se esparce por el fondo con mayor o menor salinidad pudiendo afectar los ecosistemas bentónicos con los que se topa en su avance.

2.2 Regulación de los cambios de salinidad en el medio de los organismos marinos

En plantas marinas y algas, los cambios en la salinidad ambiental dan lugar a un flujo inmediato de agua acorde con el gradiente osmótico, que va acompañado de una aclimatación rápida a partir del reajuste de las concentraciones de los solutos intracelulares y del potencial hídrico para el mantenimiento de la presión de turgencia. Para mantener constante esta presión (evitando la plasmólisis de la célula), cuando se detectan cambios en el potencial hídrico externo, la membrana reacciona ante estos estímulos con la producción de sustancias controladoras del intercambio de iones para modificar las concentraciones internas de K^+ , Na^+ y Cl^- fundamentalmente en la vacuola.

Los fluidos internos de los animales marinos, que viven sumergidos en un medio de concentración prácticamente constante, tienen una concentración semejante a la del agua de mar. Esta situación de equilibrio no requiere un trabajo activo de regulación. Sin embargo, las relaciones iónicas entre ambos medios (interno / externo) no son iguales lo que determina una regulación osmótica que va, pues, más allá de un simple ajuste de la salinidad total.

Cuando un animal se enfrenta a cambios en su medio ambiente puede mostrar una de las dos grandes categorías de respuesta: conformismo o regulación.

En ciertas especies, modificaciones en la salinidad del ambiente inducen cambios corporales internos paralelos a las condiciones externas. Tales animales, denominados **osmoconformistas**, son incapaces de mantener la homeostasis de la salinidad de sus fluidos corporales. El grado de éxito de los conformistas para sobrevivir en esas fluctuaciones ambientales depende de la tolerancia de sus tejidos corporales a las alteraciones internas.

¹ psu: "practical salinity unit" o unidad práctica de salinidad. Es la unidad definida por la UNESCO y equivale aproximadamente a 1 g de sal por kg de muestra, que también puede expresarse como 1‰



CEDEX

Los organismos **osmoreguladores**, como su nombre indica, utilizan mecanismos bioquímicos, fisiológicos u otros para el mantenimiento del equilibrio interno y la tendencia a la estabilidad en la composición físico-química de todos los fluidos corporales (es decir, mantienen la homeostasis), con independencia del medio externo. La regulación consume energía para mantener los gradientes osmóticos que permiten la entrada o salida de agua. Este coste energético dependerá fundamentalmente de la diferencia de osmolaridad de un animal respecto al medio marino.

Por lo general los invertebrados se asocian con el conformismo y los vertebrados con la regulación, aunque existen bastantes excepciones.

Como en todos los procesos biológicos, la adaptación osmótica a las variaciones en la salinidad en el ambiente sólo se produce para un rango determinado o **umbral de tolerancia**. Superados estos niveles, los procesos de regulación requieren mayores esfuerzos energéticos lo que conlleva en primer lugar a una disminución en el crecimiento, o en la disminución de otros procesos metabólicos (tasa de fotosíntesis, reproducción, etc...) seguido por un daño en los tejidos e incluso la muerte. La capacidad de tolerar mayores o menores modificaciones de la salinidad depende de adaptaciones genéticas a nivel de especie o fisiológicas a nivel de organismos o comunidades expuestas a ambientes con mayores fluctuaciones. El grado de tolerancia de una determinada especie a los cambios ambientales determina la distribución de dicha especie. Organismos más halotolerantes viven en zonas donde las fluctuaciones del ambiente son mayores (zona intermareal más cambiante que el infralitoral, la zona costera más que la el océano abierto o los estuarios con grande fluctuaciones de salinidad) y se distribuyen por zonas geográficas más amplias (especies cosmopolitas más tolerantes que las especies endémicas).

Independientemente de la estrategia reguladora o no frente a los cambios en la salinidad, gran parte de los organismos marinos (osmoreguladores u osmoconformistas) no son capaces de tolerar cambios importantes en la osmolaridad externa y se dice que son **estenohalinos**. Por el contrario, los animales **eurihalinos**, entre los que se incluyen algunos osmoconformistas y algunos osmoreguladores pueden sobrevivir con grandes fluctuaciones de la salinidad externa.

Finalmente, la capacidad de tolerar mayores o menores cambios en la salinidad depende también de otros factores abióticos (temperatura, incidencia de luz, etc.), bióticos (edad, tamaño, etapa del desarrollo, etc.) y otros relacionados con la exposición a la variación (periodo de exposición, tiempo de aclimatación, si es una exposición directa o gradual, etc.).

2.3 Normativa para la regulación del incremento de salinidad en el medio marino

Según el REAL DECRETO LEGISLATIVO 1/2008, de 11 de enero (BOE 26 enero 2008), por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos, las instalaciones de desalación o desalobración de agua con un volumen nuevo o adicional superior a 3.000 metros cúbicos/día, deben someterse al procedimiento de Evaluación Ambiental. Este procedimiento, tras la redacción de un Estudio de Impacto Ambiental y del trámite de alegaciones, se finaliza con la formulación y publicación de una Declaración de Impacto Ambiental DIA, en la que se establecen las condiciones que deben cumplirse en orden a la adecuada protección del medio ambiente y los recursos naturales.

Concretamente las DIAs que se han aprobado en los últimos años establecen los objetivos de calidad para el parámetro salinidad pero sólo en el caso de existencia de praderas de *Posidonia oceanica* o de *Cymodocea nodosa* en las proximidades de la zona de vertido. En el caso de la existencia de otras comunidades, como margen de seguridad, en numerosas ocasiones se está actuando como si dichos valores fueran los mismos que los de estas praderas (lo que seguramente es excesivo por tratarse de especies extraordinariamente sensibles a este parámetro).

Por otra parte, para la realización del vertido de salmuera al medio marino, es necesario solicitar una autorización de vertido (AV) a la comunidad autónoma donde se vaya a realizar. Esta AV, se refiere exclusivamente al vertido, por lo que generalmente regulará un mayor número de contaminantes y especificará con mayor detalle las condiciones en las que puede realizarse el vertido y la forma en la que deben hacerse los muestreos.

En cualquier caso y según la normativa aplicable que ha sido analizada en detalle en otro informe del CEDEX²:

- No existe ninguna normativa que regule específicamente los vertidos de las desaladoras.
- No se han establecido límites de emisión para el contaminante más significativo de un vertido de este tipo, esto es, el exceso de salinidad respecto a la del agua de mar, y
- El parámetro salinidad sólo se menciona como objetivo de calidad en una norma estatal (el Real Decreto 345/1993, que en su anejo IV establece como condiciones imperativas que la variación de salinidad provocada por un vertido en las aguas para cría de moluscos afectadas por dicho vertido no deberá ser superior a un 10 por 100 de la salinidad medida en las aguas no afectadas y que el valor máximo deberá ser inferior a 40‰ y como condición guía, que la salinidad máxima debe ser inferior a 38‰) y en tres normas autonómicas (en Andalucía, la Orden del 14 de febrero de 1997; en Cantabria, el Decreto 47/2009, de 4 de junio, y en Galicia, la Ley 8/2001, de 2 de agosto), que coinciden en establecer como máxima variación admisible un 10% del valor medido en aguas no afectadas por el vertido, aunque con ligeras diferencias en la forma de expresarlo.

En el ámbito internacional, según datos extraídos del “*Resource and Guidance Manual for Environmental Impact Assessments of Desalination Projects*” del Programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas (UNEP), la “*Environmental Protection Agency*” de Estados Unidos (EPA, U.S) establece en la “Guía para la Reutilización del Agua” que la variación en salinidad no debe exceder en más de 4 unidades la salinidad del medio natural en áreas permanentemente ocupadas por plantas cuando la salinidad del ambiente está entre 13.5 y 35 unidades.

En Australia, el “*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)*” especifica en la Guía para Aguas Continentales y Marinas que el incremento medio de salinidad tiene que ser inferior del 5% respecto a la salinidad natural del ambiente, lo que en mares de Australia equivale aproximadamente a incrementos de salinidad de 1.5. El criterio

² El sistema de protección del medio marino frente a los vertidos de las plantas desaladoras en España: análisis y propuesta de mejoras. Informe Técnico del CEDEX para la DGCEAMN. Noviembre de 2011.



CEDEX

establecido para el vertido de salmuera de la planta desaladora de Perth (Oeste de Australia) requiere que la salinidad no exceda en más de 1.2 unidades la salinidad del ambiente en los 50 primeros metros desde el punto de vertido ni en más de 0.8 la salinidad del ambiente en los 1000 m siguientes.

En Japón, para la planta desaladora de Okinawa se establece un máximo de salinidad de 38 unidades en la zona de mezcla y un incremento de máximo de una unidad donde la pluma se estabiliza en el fondo.

De este apartado se deduce que no existe hasta el momento ningún acuerdo común para el establecimiento de límites de emisión y de normas de calidad en relación con el incremento de salinidad en el medio por vertidos de salmuera procedentes de plantas desaladoras.

3. OBJETIVOS DEL INFORME

El objetivo del presente trabajo es establecer unos criterios comunes de calidad para el contaminante más significativo de un vertido procedente de una planta desaladora, el exceso de salinidad respecto a la del agua de mar, en función de la sensibilidad a este parámetro de los ecosistemas o comunidades afectados.

Para ello, se ha realizado una exhaustiva revisión bibliográfica que permite conocer el estado de avance en el que se encuentran los estudios relacionados con el efecto del incremento de salinidad en los distintos organismos marinos que pudieran verse afectados por un vertido de salmuera procedente de una planta desaladora.

Con este trabajo se pretende:

- Revisar los límites aplicados hasta ahora para las praderas de *C. nodosa* y *P. oceanica* para integrar los avances producidos durante los últimos años en el estudio de su umbral de tolerancia a los incrementos de salinidad.
- Analizar otras investigaciones para determinar los umbrales de tolerancia de otras especies de interés ecológico o económico (pesca, marisqueo, recolección de algas).
- Establecer criterios de calidad específicos para las praderas de *P. oceánica* y *C. nodosa* y para hábitats bentónicos de interés comercial y aquellos incluidos en una zona con alguna figura de protección ambiental en cuya declaración hayan influido. Así mismo, se pretende establecer un criterio de calidad de carácter general en cualquier punto situado fuera de la zona de mezcla³.

³ La zona de mezcla está definida cualitativamente en el artículo 4 de la Directiva 2008/105 y en los puntos 5.1.2.1 y 5.1.2.2 de la Orden ARM/2656/2008. En espera de una norma que la defina cuantitativamente se puede interpretar que coincide con el campo cercano del vertido.

4. METODOLOGÍA

4.1 Búsqueda bibliográfica

Para cumplir los objetivos del presente informe, se ha realizado una exhaustiva búsqueda de artículos científicos publicados sobre los límites de tolerancia o efectos del incremento de salinidad en el medio a distintos organismos marinos. Estos organismos se han clasificado en cinco grupos basados en que dadas las características morfológicas de las especies que lo componen, pueden tener en principio distinto grado de vulnerabilidad frente a cambios en el ambiente:

Fanerógamas marinas:

Las praderas de fanerógamas marinas son hábitats compuestos por plantas superiores fotófilas. Se trata de especies de plantas vasculares que se caracterizan por la producción de semillas, poseen un complejo sistema de rizomas, y pueden desarrollar inflorescencias o flores y frutos en determinadas épocas del año.

Estas plantas son de gran importancia para las comunidades marinas, ya que proporcionan una gran cantidad de biomasa y oxígeno. Además protegen la costa de la erosión, gracias a que sus hojas y rizomas actúan reduciendo el hidrodinamismo. Por último, las praderas de fanerógamas marinas crean una gran diversidad de ambientes que dan lugar a los más diversos hábitats, lo que a su vez, propicia la existencia de una gran variedad de especies.

En Europa pueden encontrarse cinco especies de fanerógamas marinas: *Posidonia oceanica*, *Cymodocea nodosa*, *Zostera marina*, *Z. noltii* y *Halophila decipiens*. Estas especies son autóctonas de las costas europeas, y todas ellas están presentes en el litoral español.

Posidonia oceanica es además una especie endémica del Mediterráneo presente en las aguas más someras y en zonas abiertas sometidas a un fuerte hidrodinamismo sobre fondos duros. A mayor profundidad, donde el hidrodinamismo es menor, se instala sobre fondos arenosos. *Zostera marina* crece principalmente en las aguas del norte de la península ibérica, en zonas someras intermareales y submareales, y tiene una distribución muy localizada en el Mediterráneo. *Zostera noltii* crece en aguas poco profundas y muy protegidas en fondos arenosos, y se encuentra catalogada como especie en peligro en la legislación de varias comunidades autónomas. *Cymodocea nodosa* ha sido encontrada en lagunas costeras, estuarios y costas abiertas sobre fondos arenosos. Ambas, *Cymodocea nodosa* y *Zostera noltii*, se extienden tanto en las costas mediterráneas como en las atlánticas y aparecen junto con *Halophila decipiens* de distribución pantropical, en las islas Canarias.

Dada su importancia ecológica, *Posidonia oceanica* y *Cymodocea nodosa* se encuentran incluidas en el anexo I "Tipos de hábitats naturales de interés comunitario" de la directiva Hábitats 92/43/CEE incluida en la red natura 2000. Sin embargo, a causa de su fragilidad y al incremento de la presión humana ejercida en el litoral (proliferación de puertos, regeneración de playas, fondeo de embarcaciones de recreo, disminución de la transparencia del agua por contaminación, pesca ilegal...), estas praderas marinas se ven hoy en día gravemente amenazadas.

Por todo esto, junto con la elevada sensibilidad de estos organismos al incremento de salinidad en el medio, las primeras investigaciones sobre el efecto de los vertidos de salmuera se

centraron principalmente en el estudio de *Posidonia oceanica* aunque se han ido ampliando al estudio de otras especies en los últimos años.

Entre estos estudios, se incluyen otras especies de fanerógamas que no se encuentran en el litoral español y que por tanto, no se han tenido en cuenta para este informe. Un ejemplo muy claro son los trabajos llevados a cabo con *Posidonia australis*, fanerógama endémica de las costas australianas y que a pesar de ser del género *Posidonia*, es notablemente más tolerante al incremento de salinidad que *P.oceanica*.

En cualquier caso, sí se han considerado aquellos estudios de especies que a pesar de no encontrarse distribuidos en la costa española aportan información útil para el trabajo.

Macroinvertebrados bentónicos

En este grupo se incluyen los organismos que viven en relación con el fondo, ya sea para fijarse, excavarlo y/o vivir dentro de él, marchar o desplazarse sobre su superficie, o para nadar en sus vecindades, sin alejarse.

Las comunidades bentónicas son muy diversas según la naturaleza del sustrato (roca, arena, limo) y la profundidad. Han desarrollado distintas estrategias de adaptación para enfrentarse a los cambios de salinidad. Los organismos propios de los fondos marinos habitan un ambiente en el que suele reinar una estabilidad de condiciones muy superior a la propia de las aguas pelágicas y de la zona intermareal y por tanto su vulnerabilidad a los cambios en esas condiciones ambientales es mayor que la de organismos adaptados a frecuentes variaciones en el medio.

Los invertebrados bentónicos, se caracterizan (salvo algunas excepciones) por poseer una escasa o nula capacidad de natación, lo que dificultaría su movimiento fuera de la zona afectada por un vertido. Generalmente, su hábitat suele ser la superficie y los pocos centímetros superiores del material del fondo oceánico formado por arena, rocas o fango. Son por lo general organismos osmoconformistas (los líquidos corporales se hallan en equilibrio con el ambiente), y algunos pueden tolerar una substancial variación en la salinidad del medio.

Muchas especies de este grupo. Por este motivo, ya sea para su cultivo o para la determinación de las condiciones óptimas de desarrollo en el entorno natural se han encontrado numerosos estudios para determinar los límites de tolerancia, la salinidad óptima o las estrategias de adaptación a los cambios de salinidad de diferentes especies. Por tanto una primera clasificación dentro de los organismos que componen este grupo puede establecerse en base a su interés comercial o ecológico:

- Hábitats de cultivo de especies de interés comercial o zonas protegidas
- Otros Hábitats

Pero además, en este apartado aparecen representados un gran número de grupos taxonómicos o grupos biológicos que podemos a su vez clasificar en:

- Moluscos: Entre los que aparecen bivalvos, gasterópodos y cefalópodos
- Artrópodos crustáceos
- Equinodermos: Erizos, estrellas y pepinos de mar

A diferencia de las fanerógamas marinas en este apartado se han incluido los estudios llevados a cabo con diferentes especies independientemente de su distribución geográfica. No obstante para determinar su presencia en las costas españolas se han consultados las siguientes bases de datos biológicas:

- World Register of Marine Species (WoRMS): <http://www.marinespecies.org/>
- Marine Biodiversity and Ecosystem Functioning (MARBEF data system): <http://www.marbef.org/>

Peces

Los peces viven en ambientes con una composición distinta a la del medio interno, existiendo un flujo pasivo de agua e iones entre ambos medios (es decir, son organismos osmoreguladores). En el mar, estos organismos son hiposmóticos respecto al medio externo. En el caso de los peces eurihalinos, éstos presentan la capacidad de poder vivir en distintas salinidades ambientales.

Este grupo está integrado por organismos dotados en su mayoría de medios de locomoción capaces de contrarrestar los movimientos del mar, es decir, por animales nadadores que viven generalmente (salvo los peces planos) en la zona pelágica, región del océano que representa un medio ecológico de extraordinaria uniformidad.

Como organismos pelágicos, no parecen a priori susceptibles de verse afectados por los vertidos hiperdensos pegados al fondo. Además, la condición de seres nadadores favorecería la huida de las zonas afectadas por los vertidos. No obstante, no hay que olvidar que aunque los organismos adultos tienen una alta capacidad de movimiento, tanto los embriones (generalmente reproducción externa con expulsión al medio de los huevos) como los individuos juveniles (fundamentalmente en los primeros estadios del desarrollo) viven asociados al fondo y poseen una movilidad muy escasa o nula lo que les hace más vulnerables al incremento de la salinidad del medio.

Al igual que en el caso de los invertebrados bentónicos muchos de ellos son cultivados para el consumo humano y por eso se han encontrado varias referencias en cuanto a límites de tolerancia a la salinidad así como a la estimación de la salinidad óptima para el crecimiento. También en este caso se presentarán los estudios encontrados independientemente de la distribución geográfica de las especies analizadas. Para determinar su presencia en las costas españolas se han consultados las siguientes bases de datos biológicas:

- World Register of Marine Species (WoRMS): <http://www.marinespecies.org/>
- Marine Biodiversity and Ecosystem Functioning (MARBEF data system): <http://www.marbef.org/>
- Fish base: www.fishbase.org



CEDEX

Algas

El crecimiento y distribución de las algas marinas viene determinado por diferentes factores, principalmente la luz, la temperatura, los nutrientes, el movimiento del agua y finalmente la salinidad. Aunque de forma general las algas pueden adaptarse con cierta facilidad a un amplio rango de salinidades, muchas especies no toleran cambios bruscos en el ambiente. Cambios en la salinidad fuera de sus límites de tolerancia pueden afectar a la tasa de crecimiento y de supervivencia de las algas así como a la fotosíntesis o a la respiración.

Por otro lado, durante los últimos años, el cultivo de algas para la industria y las empresas farmacéuticas ha crecido considerablemente con lo que también ha aumentado el número de estudios de los límites de tolerancia de las mismas. Además se han encontrado varios estudios sobre la distribución de las algas en función de la salinidad, que si bien no son un indicador en si mismo, proporcionan una idea del grado de afección al que se verían sometidos con un vertido de salmuera y por tanto se muestran en este informe de forma complementaria.

Para conocer la distribución geográfica de las especies de estas algas se consultó la siguiente base de datos:

- Algabase: <http://www.algaebase.org/>

Otros estudios

Por último este grupo recoge aquellos estudios realizados sobre la afección de los vertidos de salmuera en la distribución, abundancia y riqueza de especies en las zonas afectadas sin centrarse en el límite de tolerancia de cada una de ellas.

4.2 Revisión de artículos

Una vez clasificados los tipos de organismos en estos 5 grupos, de los artículos encontrados se descartaron todos aquellos referidos al estudio del efecto de una disminución en la salinidad del medio. Cabe mencionar que estos estudios superan en número a los encontrados para un medio hipersalino ya que de forma natural se produce con mayor facilidad el primer caso. Hay que tener en cuenta que las desembocaduras de los ríos son zonas de gran riqueza ecológica donde se producen constantemente variaciones en la salinidad. Sin embargo el aumento de la salinidad en el medio se restringe a zonas muy cerradas o charcas sujetas al efecto de la evaporación del agua.

Se descartaron también, por no resultar significativos para el análisis de la afección de los vertidos de salmuera, estudios encontrados sobre el efecto del incremento de salinidad en distintos organismos en los que la salinidad de referencia o control es mucho menor que la salinidad típica de las costas españolas (37,5 psu de media en el Mediterráneo) ya fueran estudios sobre organismos de agua dulce, salobre o estuarios.

Finalmente, se han descartado aquellos artículos en los que la respuesta estudiada no representa un efecto fácilmente observable y por tanto comparable sobre los organismos. Es decir, no se han considerado respuestas de tipo metabólico o estudios específicos sobre el intercambio de iones, agua y/o daños a nivel celular.

4.3 Descripción de los trabajos y resumen de resultados

A partir de los artículos seleccionados, se realizó una tabla resumen por cada grupo de organismos. Cada tabla se compone de los siguientes campos:

- *Referencia:* Autor principal, año de publicación y número correspondiente del listado de bibliografía donde se puede encontrar la referencia completa del artículo.
- *Nombre común y/o grupo taxonómico:* En el caso de los invertebrados bentónicos o en el de los peces el nombre común facilita el reconocimiento de ciertas especies habituales en nuestras costas y conocidas por un buen número de gente. En cualquier caso, no hay que olvidar que este nombre puede variar de unos países a otros e incluso en España, entre comunidades (problema muy común en peces) por lo que la identificación inequívoca de la especie se realiza a partir del nombre científico.

El grupo taxonómico identifica los subgrupos de moluscos, equinodermos y algas (géneros, clases, etc...) entre los que hemos dividido estos grandes grupos taxonómicos.

- *Especie:* El nombre científico que identifica a la especie. En el caso de que en el artículo se identifique la especie con nombres no aceptados por la comunidad científica, entre paréntesis se clarifica el nombre reconocido en la actualidad.
- *Salinidad de referencia:* Identifica la salinidad considerada salinidad control, o de aclimatación de los organismos. En la mayoría de los casos está salinidad coincide con la salinidad típica de la zona de recolección de los organismos que van a ser testados. De no ser así en este campo se ha considerado la salinidad de aclimatación o control. En la pocas situaciones en los que la publicación no menciona la salinidad de referencia se ha tomado cómo tal la salinidad típica de la zona del estudio, con la excepción de aquellos artículos en los que no se ha encontrado ninguno de estos datos en cuyo caso se mantiene el campo en blanco.
- *Salinidad estudiada:* Salinidad para la que se ha obtenido una respuesta determinada o salinidad de los distintos tratamientos a los que ha sido sometida. En ambos casos aunque en la tabla se especifique como unidad el psu, hay que mencionar que no siempre se aportan los datos en estas unidades. Mientras que los artículos más modernos si que es habitual que se utilicen para medida de la salinidad las unidades prácticas de salinidad (psu), en artículos más antiguos se han encontrado otras unidades tipo "ppt", "g/l", "%", etc. No obstante, considerando por un lado que en la mayoría de los casos las diferencias no son muy importantes y sobre todo que, tal y como se verá más adelante, siempre se analizan los datos como incremento respecto a la salinidad control, se han mantenido los valores de salinidad en las unidades proporcionadas en las publicaciones.
- *Variable estudiada:* Es preciso matizar que tanto las variables estudiadas para determinar la respuesta de los organismos a los incrementos de salinidad, como la manera de representarlas y las unidades de dichas variables son muy diferentes de unos casos a otros. En algunos casos se analiza la toxicidad aguda sobre los organismos con un efecto adverso (letal o subletal) inducido durante un periodo de

exposición corto, pero por lo general se analizan los efectos tóxicos a largo plazo (toxicidad crónica). Estos últimos están relacionados con cambios en el metabolismo, crecimiento o capacidad de supervivencia (muerte y reducción de la capacidad reproductora).

Con la excepción de las algas, en el resto de grupos la variable más estudiada ha sido la tasa de supervivencia/mortalidad de los organismos sometidos a diferentes tratamientos de salinidad. Además en el caso de los animales también es común el estudio de la tasa de crecimiento mientras que en los vegetales predominan los estudios sobre la tasa de fotosíntesis. Muchos también han estudiado parámetros relacionados con la reproducción.

- **Respuesta:** Con el fin de homogenizar los resultados de los distintos trabajos y poder compararlos, se ha calculado el porcentaje de respuesta relativa tanto en cada tratamiento de salinidad como en el control. Para ello se han realizado los siguientes cálculos:

1. Cálculo de la respuesta relativa en el control.

$$Rs_c(\%) = \frac{vf_c - vi_c}{vi_c} * 100 \quad \text{donde;}$$

$Rs(\%)$ es el porcentaje de respuesta al final del experimento relativa al valor inicial en el control.

vf_c es el valor de la variable estudiada al final del experimento en el control.

vi_c es el valor de la variable estudiada al inicio del experimento en el control.

2. Cálculo respuesta relativa en los distintos tratamientos de salinidad

$$Rs_{Tx}(\%) = \frac{vf_{Tx} - vi_{Tx}}{vi_{Tx}} * 100 \quad \text{siendo;}$$

vf_{Tx} es el valor de la variable estudiada al final del experimento en el tratamiento de salinidad x.

vi_{Tx} es el valor de la variable estudiada al inicio del experimento en el tratamiento de salinidad x.

Valores negativos de $Rs(\%)$ indican una reducción de los valores de la variable desde el inicio del experimento mientras que valores positivos indican aumento de los valores de dicha variable. Cuanto mayor es la diferencia entre Rs_c y Rs_{Tx} , mayor es el efecto de este tratamiento sobre la planta.

A veces los resultados de un experimento se expresan ya en forma de respuesta. Por ejemplo, si la variable medida es la longitud del tramo de hoja entre dos marcas hechas al inicio, la respuesta es el incremento de longitud experimentado durante el ensayo dividido por la longitud inicial. Pues bien, en este caso el resultado del experimento

suele expresarse en mm de crecimiento por día y por mm de longitud inicial y se denomina tasa de crecimiento, lo que constituye en sí misma una respuesta. Lo mismo ocurre con la tasa de supervivencia, la tasa de fotosíntesis, la tasa de reproducción o el balance metabólico. En estos casos la variable representada en el presente informe ha sido directamente la tasa descrita en el artículo correspondiente sin necesidad de realizar el cálculo anterior.

En el caso de publicaciones en las que sólo se dispone de la representación gráfica de la respuesta producida, y siempre y cuando estas gráficas fueran de fácil interpretación (escala lineal, suficientes marcas de graduación, etc.), se han estimado los valores referentes tanto a v_f como a v_i (R_s en el caso de variables que ya son una respuesta) a partir de dichas gráficas. No obstante, teniendo en cuenta las incertidumbres que este método de cálculo puede producir en los resultados, siempre que la respuesta se calcule de este modo, se indica en el campo de observaciones. No se han tenido en cuenta variables de las que no se dispone del valor inicial.

- *Zona de estudio:* Proporciona una idea del interés para nuestro trabajo y de la salinidad media a la que aparecen los organismos en el entorno natural.
- *Distribución de la especie:* Salvo en el caso de las fanerógamas en las que sólo se han incluido estudios de las 5 especies que se distribuyen por las costas españolas, en el resto de grupos se incluyen especies independientemente de su distribución geográfica. Por tanto este campo permite identificar las especies que se localizan en las costas españolas.
- *Interés comercial:* Identifica los usos que se da a los organismos (consumo humano, industria farmacéutica, cosmética, ornamentación, etc.) y si se trata o no de especies cultivada.
- *Periodo de exposición:* Tiempo que los organismos están sometidos al tratamiento de salinidad. Puede ser durante unas horas o durante meses en algunos casos.
- *Comentarios:* En este campo se clarifica cualquier dato referente a la tabla que facilite la interpretación del artículo.

Por ejemplo, en los que a pesar de disponer exclusivamente del resumen del artículo, éste aporta información suficiente han sido considerados para el estudio. No obstante, en el campo de comentarios se hace referencia a esta limitación.

Por otro lado, a pesar de conocer que tanto el tiempo de exposición como la rapidez de los cambios de salinidad pueden influir en el grado de afección de los organismos, no se ha considerado estas variables para el análisis. No obstante y siempre que la publicación lo mencione, en este apartado de comentarios de las tablas resumen, se detalla el tipo de exposición al incremento de salinidad:

- Directa: para los casos de traspaso directo de los organismos de los tanques o acuarios de aclimatación o controles a los de la salinidad de estudio.

- Gradual: para el caso de un incremento gradual de la salinidad desde la de aclimatación a la de estudio. En estos casos, siempre que ha sido posible, se ha especificado la tasa de incremento de salinidad

Además, en este apartado se clarifica cualquier dato considerado relevante en relación a la respuesta estudiada. Ya se mencionó que siempre que los valores proporcionados en la respuesta sean estimados a partir de gráficos en este apartado debe mencionarse. Por otro lado, dado que muchos de los estudios encontrados analizan de forma conjunta el efecto de más de una variable (como por ejemplo la salinidad y la temperatura), en este campo se menciona los valores del resto de variables para los que se analiza la influencia del incremento de salinidad.

4.4 Análisis de resultados

Una vez obtenidas estas tablas resumen, para un análisis global de los resultados, para cada grupo de organismos se seleccionaron las variables elegidas y estudiadas por la mayoría de los autores por su repercusión para determinar el umbral de tolerancia de las distintas especies. Común a la gran mayoría de especies y de grupos taxonómicos se analizó la influencia del incremento de salinidad en la tasa de supervivencia/mortalidad además de otras variables menos drásticas que la mortalidad de los individuos (tasas de crecimiento, fertilidad, fotosíntesis, etc.).

Considerando la variabilidad de la salinidades estudiadas por cada autor y que como se verá más adelante, las salinidades a las que se observa algún tipo de respuesta en los distintos organismos, dependen en cierta medida de la salinidad natural del medio receptor (o salinidades control) a la que están aclimatados, para poder comparar el conjunto de resultados, se han representando gráficamente las repuestas obtenidas para la variable seleccionada en cada grupo en función del incremento de salinidad y comparado con la respuesta en el control (incremento de 0 psu). En algunos casos estos incrementos se han agrupado por intervalos para facilitar la representación.

En el caso de las fanerógamas marinas distintas de la *P. oceanica* y de *C. nodosa* como no se encontraron suficientes datos referentes a una variable en concreto, se representaron los valores de salinidad aportados por los autores como límites de tolerancia pero calculados como incremento respecto a la salinidad del medio o control.

A partir de estos gráficos el siguiente paso fue determinar para cada uno de los grupos en los que se dividieron los estudios, el máximo incremento de salinidad tolerado por la mayoría de las especies en el que no se observan efecto importantes sobre la variable estudiada identificando en cada caso, los organismos que no cumplen estos niveles para un análisis más detallado del estudio realizado.

Una vez establecida la salinidad máxima para la que no se observa respuesta negativa en los organismos, considerando las incertidumbres de la metodología del trabajo y aplicando el principio de precaución ambiental se proponen distintos niveles de protección en función de la sensibilidad de los organismos de diversos grupos taxonómicos al incremento de salinidad en el medio. Se han revisado los criterios de calidad existentes para las praderas de *P. oceanica* y *C. nodosa* y se proponen otros nuevos para hábitats bentónicos de interés comercial y para aquellos incluidos en una zona con alguna figura de protección ambiental en cuya declaración hayan influido. Así mismo, se pretende proponer un criterio de calidad de carácter general en cualquier punto situado fuera de la zona de mezcla.

Estos límites, expresados hasta el momento como valor “ s_{lim} ” máximo de la salinidad, son en este caso tratados como incrementos máximos de salinidad ya sean incrementos absolutos Δs_{lim} o relativos r_{lim} :

$$\Delta s_{lim} = (s_m - s_a)_{lim} \qquad r_{lim} = \frac{(s_m - s_a)_{lim}}{s_a}$$

Entre las ventajas que avalan la utilización de incrementos para establecer estos límites destacamos que:

- Los efectos biológicos de la salinidad (y de otros parámetros) sobre los organismos vivos, como podrá comprobarse en algunas de las publicaciones analizadas más adelante (Hu et al, 2010 [55]) suelen ser proporcionales a la variación relativa de los valores que dichos parámetros tienen en el medio receptor, razón por la que es frecuente encontrar en la normativa límites expresados en estos términos. Esto no significa que se reduzca por este hecho el nivel de protección. Por ejemplo, el límite absoluto de 38,5 psu correspondiente al percentil del 25% para la *P. oceánica* puede sustituirse por un incremento relativo límite de un 2,7%, que equivale al valor anterior para un agua típica de la costa mediterránea española, que tiene una salinidad de unas 37,5 psu.
- El cálculo de la dilución necesaria con criterios de limitación del valor absoluto puede ser muy inadecuada (por exceso o por defecto) a causa de pequeños errores en la determinación de la salinidad del medio receptor. Un error de unas décimas de psu, que es normal cuando se utilizan equipos corrientes y metodologías simples de medición, puede hacer que la dilución necesaria calculada sea el doble o la mitad que la realmente necesaria. Sin embargo, el cálculo de la dilución necesaria con criterios de un incremento máximo de salinidad (absoluto o relativo) depende muy poco o nada de la salinidad del medio (ver Anejo II), con lo que se evita este problema.
- Durante el programa de vigilancia, el efecto combinado de la pequeña variabilidad espacial y temporal de la salinidad del medio receptor con las imprecisiones de los equipos de medida hacen que existan amplias zonas (kilómetros cuadrados) donde no es posible afirmar con seguridad si hay o no hay algún incremento de salinidad con respecto a la del medio receptor, lo que disminuye la eficacia del programa de vigilancia y lo encarece innecesariamente. Sin embargo, el incremento (absoluto o relativo) de salinidad en un punto cualquiera se calcula simplemente dividiendo el correspondiente incremento en el efluente (que a su vez puede calcularse de forma bastante precisa a partir del índice de conversión de la planta, ver Anejo II) por la dilución conseguida en el medio receptor⁴:

$$\Delta s = \frac{\Delta s_v}{S} \qquad r = \frac{r_v}{S}$$

⁴ Para calcular la salinidad absoluta, además de la dilución es necesario conocer la salinidad del medio receptor.

Y las diluciones se pueden correlacionar bien con las condiciones de vertido (sobre todo para el campo cercano) y se pueden medir con precisión tanto en laboratorio como en campo si se marca el efluente con un trazador que no exista en el medio receptor.

En cuanto a la relación entre expresar el criterio de calidad como incremento absoluto (Δs_{lim}) o como incremento relativo (r_{lim}), resulta casi indiferente. Ambas alternativas representan niveles de protección casi idénticos. El primero parece más intuitivo, pero el cálculo de la dilución necesaria está ligeramente afectado por los errores de la determinación de la salinidad del medio, mientras que con el segundo desaparece dicha influencia porque puede calcularse la dilución necesaria sin necesidad de determinar la salinidad del medio (ver Anejo II).

Se debe hacer notar, que todos los experimentos analizados se han realizado manteniendo constante la salinidad durante toda la duración del ensayo. En la realidad, la salinidad medida en la zona de afección de los vertidos es variable debido a la turbulencia generada durante la descarga (campo cercano) y a la variabilidad de las corrientes en el medio receptor (campo lejano), razón por la cual los criterios de calidad suelen expresarse en términos estadísticos. Por ejemplo, actualmente el criterio para las praderas de *P.oceanica* es que no debe superarse los 40 psu más del 5% del tiempo ($s_{lim,5}$) ni los 38.5 psu más del 25% del tiempo ($s_{lim,25}$). Con los resultados de los ensayos donde la salinidad se mantiene constante lo que se puede obtener es la salinidad que no puede superarse el 100% del tiempo ($s_{lim,100}$). Si este valor se impone como $s_{lim,5}$ ó $s_{lim,25}$ se están estableciendo márgenes de seguridad adicionales.

Finalmente para concluir con este apartado, mencionar que la metodología aplicada para la realización de este trabajo puede compararse en cierta medida con la desarrollada por la "Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)" de Australia. Durante los últimos años, Australia se ha convertido en unos de los principales países productores de agua desalada. Por tanto, como parte de la guía desarrollada por las autoridades ambientales para establecer objetivos de calidad del agua, se establece (también para los vertidos de salmuera del medio marino) un protocolo para la determinación de la concentración máxima de una determinada sustancia sin afectar los ecosistemas acuáticos ("ANZECC protocol"). Este protocolo consiste en establecer las concentraciones máximas de contaminante que no afectan al 80, 90, 95 y 99% de diversas especies consideradas representativas de la zona de actuación y susceptibles de ser afectadas por el contaminante en cuestión. Es decir, niveles de protección del 80 (PC80), 90 (PC90), 95 (PC95) y 99% (PC99). Los valores de máxima concentración se establecen a partir de estudios toxicológicos (por lo general EC10/EC5) llevados a cabo con estas especies. ([30]).

5. ANÁLISIS DEL EFECTO DEL INCREMENTO DE SALINIDAD EN ORGANISMOS MARINOS

5.1 Fanerógamas marinas

5.1.1 *Posidonia oceanica*

I. Antecedentes:

Cómo ya se mencionó, *P. oceanica* es una especie endémica del Mediterráneo, cuyas praderas, de gran valor ecológico, aparecen en diversas normativas ambientales, y, en particular, en la lista de hábitats de conservación prioritaria del Consejo de Europa (directiva 92/43/CEE, de 21 de mayo de 1992). Por ello, las primeras investigaciones sobre el efecto de los incrementos de salinidad en el medio producidos por los vertidos de las plantas desaladoras se centraron en esta planta.

Los trabajos arrancaron del proyecto de la Sociedad Estatal Aguas de la Cuenca del Segura (ACSEGURA) para construir una planta desaladora de gran capacidad en la Rambla de Valdelentisco, términos municipales de Mazarrón y Cartagena (Murcia). La proximidad del punto proyectado para realizar el vertido de las aguas de rechazo a una pradera de *Posidonia oceanica* hacía posible que pudieran producirse efectos negativos sobre ésta. A la vez que se advertía esta posible interacción entre los vertidos de aguas de rechazo de la planta desaladora y un ecosistema de conservación prioritaria, se constataba también la escasa información existente sobre los umbrales de tolerancia a la salinidad de *P. oceanica* y de los principales organismos asociados. Para cubrir este vacío de información, así como para efectuar una gestión preventiva de los vertidos, la Sociedad Estatal ACSEGURA y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) suscribieron, en mayo de 2000, un convenio de colaboración para la investigación sobre el vertido al mar de las aguas de rechazo procedentes de estaciones desaladoras. Constaba de una parte encaminada al estudio físico del vertido, incluyendo la optimización del dispositivo para maximizar la dilución, y de otra parte encaminada a determinar, desde diferentes puntos de vista y a través de aproximaciones complementarias, los umbrales de tolerancia de la biota a incrementos de salinidad. Para la realización de esta segunda parte, el CEDEX suscribió a su vez convenios de colaboración con el Centro de Estudios Avanzados de Blanes del CSIC, el Instituto Español de Oceanografía, el Departamento de Ecología de la Universidad de Barcelona y el Departamento de Ciencias Ambientales de la Universidad de Alicante.

Se decidió acometer el problema mediante tres enfoques diferentes:

1. Experimentación en acuarios
2. Experimentación *in situ*
3. Estudio en zonas de vertido de desaladoras en funcionamiento

Experimentación en acuarios

El primero de los niveles de aproximación que se propuso fue la realización de experimentos en laboratorio, en acuarios de volumen más o menos reducido que fueron encargados al Departamento de Ciencias Ambientales de la Universidad de Alicante.



Figura 1: Primeros experimentos con *Posidonia* en acuarios

Los detalles de este trabajo se publicaron en el 2005 en la revista “*Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*” ([1] Fernández-Torquemada, 2005)

De forma general, en cada experimento se mantuvieron unas condiciones de salinidad homogénea diferente a la del agua del mar a un número de haces de *Posidonia* durante un periodo de, aproximadamente, 15 días. Los descriptores utilizados para analizar la influencia de la salinidad del medio en los organismos fueron los siguientes:

- Crecimiento foliar.
- Manchas de necrosis y mortalidad de los haces.
- Biomasa de epífitos.

Estas experiencias permitieron una aproximación a los efectos inmediatos que pudieran aparecer por efecto del incremento de salinidad. Se trata de un test de “toxicidad aguda” pero sus resultados no pueden ser extrapolados para evaluar la “toxicidad crónica”, es decir, los efectos a medio o largo plazo que el incremento de salinidad en el medio pudiera producir sobre la salud de la pradera.

Como resultados de esta investigación se obtuvo que,

Las tasas de crecimiento se reducen sobre el crecimiento en el control (38 psu) en las siguientes proporciones medias:

- Para incrementos de salinidad en torno a 2 – 3 psu las plantas crecen, como media, un 14% menos que a la salinidad del agua del mar.
- Para incrementos de salinidad en el entorno de 5 psu las plantas crecen aproximadamente la mitad que en la salinidad del agua del mar.
- Por encima de 8-10 psu de incremento de salinidad las plantas dejan de crecer por completo

En lo que se refiere a la supervivencia de las plantas, se observó una mortalidad de un determinado porcentaje de plantas incluso en los tratamientos a salinidad de agua del mar, que como media resultó ser del 8,5 % (variando entre 0 y 15%). En cualquier caso se observó un aumento de la mortalidad con la salinidad, mostrando un porcentaje elevado a salinidades por encima de los 42 psu.

Experimentación in situ

La segunda manera de aproximación al problema consistió en obtener una evidencia directa de la hipotética relación causa-efecto entre el incremento de la salinidad del medio causado por el vertido salino y la vitalidad y persistencia de *Posidonia oceanica*. Para ello se estudió la respuesta de plantas intactas (es decir, en la misma pradera) al aporte experimental de un vertido hipersalino. Estos trabajos fueron ejecutados por el Centro oceanográfico de Murcia del Instituto Español de Oceanografía a través de un convenio de colaboración suscrito con el CEDEX y se han publicado en la revista de "*Botánica Marina*" (Ruiz et al, 2009 [2])

El vertido de la planta piloto se diluyó en tierra hasta conseguir las dos salinidades elegidas par el ensayo. Una, representativa de un incremento elevado de salinidad o HS (incremento medio de 1 psu) y otra de un incremento muy elevado o VS (incremento medio de 2.5 psu) ambos respecto a la salinidad en los controles.

Los descriptores utilizados para analizar la influencia de la salinidad del medio en los organismos fueron los siguientes:

- A nivel de la pradera, se estudió el porcentaje de cobertura y el cambio neto en la densidad de los brotes, en situación pre-operacional y 6 meses después de comenzar el vertido.
- A nivel de organismo, se analizó el tamaño de los brotes (biomasa), el número de hojas por brote y el tamaño de las mismas



Figura 2: Buzo analizando la influencia de la salinidad en las praderas de *Posidonia*

Los resultados obtenidos para determinar el estado de la pradera una vez sometida a incrementos de salinidad muestran una reducción significativa (aproximadamente el 40%) tanto en los tratamientos HS como en VS en relación con los controles. La densidad de brotes disminuyó en un 12-14% en relación con la densidad inicial (mayo de 2002) para ambos

tratamientos al final del período experimental (octubre 2002) y se redujo aún más (18,5%) en el tratamiento de VS, 3 meses después de terminados los tratamientos.

Por otro lado, se observaron efectos importantes en el estado de las hojas durante y después del período experimental y en comparación con el control de las plantas. Al final del período experimental, el tamaño de los brotes se redujo en un 17% y un 66% en los tratamientos HS y VS, respectivamente. El número de hojas por brote se redujo inicialmente sólo en el tratamiento de VS, pero en el final del período experimental, el valor medio de esta variable en los tratamientos SH también fue significativamente menor que en los controles (18% y 25%, respectivamente). El crecimiento de la hoja se redujo (26%) al final del período experimental, pero sólo en las plantas del tratamiento VS.

Estudio en zonas de vertido de desaladoras en funcionamiento

Finalmente para una aproximación al conocimiento de los efectos de los vertidos a largo plazo, se diseñó un seguimiento de vertidos salinos ya existentes sobre la pradera. Esta parte del trabajo se le encargó al Departamento de Ecología de la Universidad de Barcelona y al Centre d'Estudis Avançats de Blanes del CSIC.

Se seleccionó como marco geográfico la zona de vertido de la planta desaladora de Formentera, donde se realizaron los trabajos que a continuación se resumen brevemente, descritos en la revista "*Estuarine Coastal and Shelf Science*" ([3] Gacia et al, 2007).

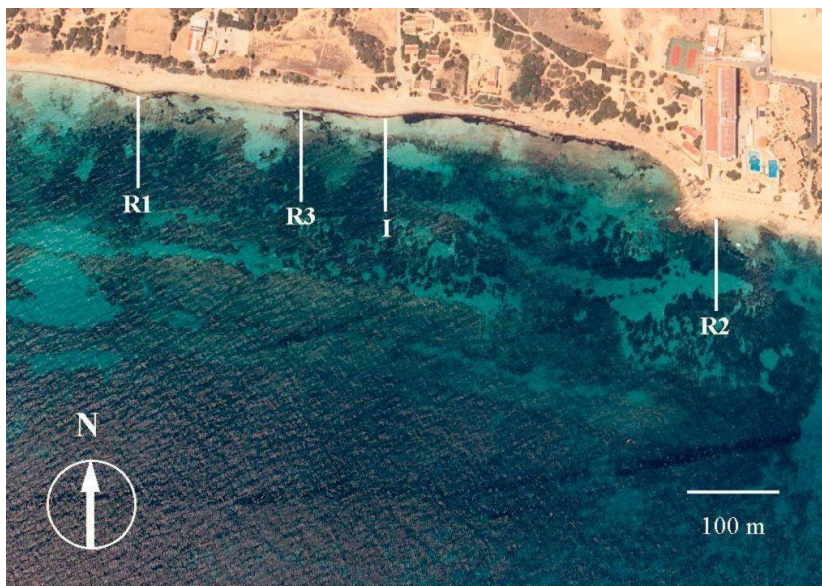


Figura 3: Localización de los puntos de muestreo de las praderas de *Posidonia*

El estudio de la pradera de esta zona se realizó a lo largo de cuatro transectos perpendiculares a la línea de costa (orientación N-S), uno en la zona impactada siguiendo la línea del emisario (transecto I), y tres en zonas de referencia (transectos R1, R2 y R3). En todos los transectos se tomaron datos para caracterizar el fondo y las comunidades bentónicas asociadas a lo largo del perfil batimétrico. En todos los casos se observó una sucesión similar: una franja de arena en la playa, seguida de bloques de piedra de distintos tamaños en la zona sumergida, una zona de manchas de *P. oceanica* alternadas con mata muerta, y finalmente una zona de pradera continua que se desarrolla a partir de 1.5 - 2 m de profundidad. Para el estudio se determinaron

dos estaciones, una en la zona de pradera a manchas (P) y otra en la zona de pradera continua (C), en cada uno de los cuatro transectos.

PARÁMETROS MEDIDOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA Y DE LA PRADERA EN LAS ESTACIONES MUESTREADAS.		
VARIABLES		TRANSECTO
Características del agua	Salinidad (columna de agua)	I, R1, R2, R3
	Salinidad (agua intersticial)	I, R1, R2, R3
	pH	I, R1, R2, R3
	DIC	I, R1, R2, R3
	Nutrientes	I, R1, R2, R3
Estructura de la pradera	densidad de haces	I, R1, R2, R3
	cobertura de <i>Posidonia</i> (método transectos radiales)	I, R1, R2, R3
	cobertura de <i>Posidonia</i> (método transectos fractales)	I, R1, R2
	estructura espacial	I, R1, R2
	estructura fina de la pradera	I, R1, R2
	herbivorismo	I, R1, R2
	densidad de equinodermos	I, R1, R2
	biomasa de epífitos	I, R1, R2
	superficie foliar	I, R1, R2
	manchas de necrosis	I, R1, R2
trasplantes	I, R1	
Fisiología	crecimiento foliar	I, R1
	sustancias de reserva	I, R1, R2
	nitrógeno y fósforo total	I, R1, R2
	aminoácidos libres	I, R1, R2
	proteína soluble total	I, R1, R2
	Actividad Glutamín Sintetasa	I, R1, R2
	Actividad Fosfatasa Alcalina	I, R1, R2
	$\delta^{13}\text{C}$	I, R1, R2, R3

De los resultados obtenidos en los reconocimientos de campo cabe destacar que:

1.- La pradera más próxima al emisario, en un avanzado estado de degradación se encontraba bañada por aguas de salinidad comprendida entre 39 y 43,4 psu, si bien no existe la evidencia de que la degradación fuera originada por el incremento de salinidad.

2.- La pradera discontinua, con afección de la densidad y cobertura, se encontraba bañada por aguas comprendidas entre 38,6 y 40 psu.

3.- Por último, la pradera continua, en la que la afección debida al incremento de salinidad se deja notar a nivel de comportamiento y características de las plantas pero que no parece afectar a la densidad y cobertura de la pradera estaba, en el momento de las medidas, afectada por salinidades comprendidas entre 38 y 39,5 psu.

4.- Teniendo en consideración los resultados obtenidos en los ensayos in situ se ha podido confirmar la elevada sensibilidad de *P. oceánica* a incrementos moderados de salinidad del medio.

5.- Los resultados obtenidos para mortalidad y cobertura así como el resto de descriptores del estado de salud de la pradera, muestran que para las parcelas sometidas al tratamiento de salinidad alta (media de 39,2 psu) se producen unos efectos claramente significativos y que tienden a incrementarse con el paso del tiempo.

6.- Las parcelas sometidas al tratamiento de salinidad baja (media de 38,4 psu) muestran unos efectos menores durante los primeros momentos de la experimentación, pudiendo ser interpretados los resultados existentes como que los efectos se van moderando con el paso del tiempo.

Evaluación conjunta de los resultados

Fruto de esta investigación coordinada por el CEDEX, analizados el conjunto de los resultados obtenidos y teniendo en cuenta las incertidumbres que todavía existían, teniendo en cuenta la opinión generalizada del grupo de investigadores intervinientes y aplicando el principio de precaución, se llegaron a desarrollar las siguientes recomendaciones⁵:

- Como criterio general para el diseño y construcción de los dispositivos para el vertido al mar de aguas de rechazo de estaciones desaladoras, dada la gran sensibilidad *Posidonia oceanica* y de su fauna asociada a incrementos, incluso modestos, de salinidad, se recomienda evitar zonas con estos ecosistemas (o con otros potencialmente sensibles), siendo preferible que el vertido afecte a fondos de arenas carentes de vegetación.
- En el caso de que criterios de suficiente entidad (constructivos, económicos o del tipo que fueran) no hicieran posible cumplir con esta primera recomendación, a la luz de los resultados actuales de la investigación, y teniendo en cuenta todo lo enunciado en el apartado anterior, así como, en particular, el principio de precaución ambiental formulado en la Cumbre de Río, se efectúa la siguiente recomendación alternativa, aplicable a cualquier vertido hipersalino que pudiera afectar a praderas de *Posidonia oceanica*:

- En ningún punto de la pradera podrá superarse la salinidad de 38.5 psu en más del 25% de las observaciones ($s_{lim,25}=38.5 \text{ psu}$)
- En ningún punto de la pradera la salinidad podrá superar 40 psu en más del 5% de las observaciones ($s_{lim,5}=40 \text{ psu}$)

⁵ Estas recomendaciones fueron consensuadas por un grupo de expertos formado por representantes de todas las instituciones que colaboraron con el CEDEX en la investigación cuyos resultados se han descrito en este apartado. Por acuerdo del grupo, estas recomendaciones se publicaron con formato de informe cuya referencia es: "Autores varios, 2003. Estudio de los efectos de incrementos de salinidad sobre la fanerógama marina *Posidonia oceanica* y su ecosistema, con el fin de prever y minimizar los impactos que pudieran causar los vertidos de aguas de rechazo de plantas desaladoras. Documento de síntesis". La versión de ponencia corrió a cargo de Javier Romero de la universidad de Barcelona. Una versión corregida y traducida al inglés se publicó posteriormente en la revista "Desalination" ([4] Sánchez-Lisazo et al., 2008)

Situación actual;

Teniendo en cuenta que no existe por el momento ninguna norma legal que regule específicamente las condiciones que tienen que cumplir los vertidos de las plantas desaladoras, y que por tanto, no se han establecido límites de emisión para el contaminante más significativo de un vertido de este tipo, esto es, el exceso de salinidad respecto a la del agua de mar, resulta de vital importancia establecer los requerimientos que se consideren necesarios en la Autorización de Vertido (AV) o en la Declaración de Impacto Ambiental (DIA).

Un ejemplo muy claro de esto lo tenemos en el establecimiento de objetivos de calidad para el parámetro salinidad en el caso de existencia de praderas de *Posidonia oceanica* (o de *Cymodocea nodosa* tal y como se explica en el siguiente apartado) en las proximidades de la zona de vertido. En efecto, las DIA que se han aprobado en los últimos años establecen de forma reiterada que no podrán sobrepasarse los límites recomendados por el grupo de expertos que realizaron los estudios comentados en el apartado anterior.

No obstante, estas recomendaciones especifican que los valores establecidos están sujetos a variaciones derivados de los avances en el conocimiento del efecto de la salmuera en estos organismos. Por ello, uno de los objetivos del presente informe consiste en revisar la bibliografía publicada desde 2005 con el objeto de determinar si deben modificarse dichos valores. A continuación se exponen los nuevos trabajos publicados sobre este tema.

II. Bibliografía revisada

Durante los últimos años, se han desarrollado varios estudios con el objeto de mejorar el conocimiento sobre la tolerancia de *Posidonia* y otras fanerógamas presentes en el litoral español. Como parte del trabajo para la redacción del presente informe, el CEDEX ha localizado y revisado además de los artículos mencionados en el apartado anterior, estos nuevos trabajos cuyas referencias bibliográficas son:

- [1] Fernandez-Torquemada, Y., and Sanchez-Lizaso, J.L. (2005) Effects of salinity on leaf growth and survival of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 320, 57-63.
- [2] Ruiz, J.M., Marin-Guirao, L., and Sandoval-Gil, J.M. (2009) Responses of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* to in situ simulated salinity increase. *Botanica Marina* 52, 459-470.
- [3] Gacia, E., Invers, O., Manzanera, M., Ballesteros, E., and Romero, J. (2007) Impact of the brine from a desalination plant on a shallow seagrass (*Posidonia oceanica*) meadow. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 72, 579-590.
- [4] Sanchez-Lizaso, J.L., Romero, J., Ruiz, J., Gacia, E., Buceta, J.L., Invers, O., Torquemada, Y.F., Mas, J., Ruiz-Mateo, A., and Manzanera, M. (2008) Salinity tolerance of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*: recommendations to minimize the impact of brine discharges from desalination plants. *Desalination* 221, 602-607.
- [5] Sandoval-Gil, J.M., Marín-Guirao, L., Ruiz, J.M., Bernardeau-Esteller, J., García-Muñoz, R., and J.G., A. (2010) Changes in water relations and osmolyte concentrations in the Mediterranean seagrasses *Posidonia oceanica* and *Cymodocea nodosa* in

response to hypersalinity stress. In: Proceedings of the 4th Mediterranean Symposium on Marine Vegetation (Yasmine-Hammamet, 2-4 December 2010).

- [6] Sandoval-Gil, J.M., Marín-Guirao, L., J., B.-E., Ruiz, J.M., and Sánchez-Lizado, J.L. (2010) Effect of hypersaline stress on photosynthesis, growth and survival of the Mediterranean seagrasses *Posidonia oceanica* and *Cymodocea nodosa*. Proceedings of the 4th Mediterranean Symposium on Marine Vegetation (Yasmine-Hammamet, 2-4 December 2010).
- [7] Sandoval-Gil, J., Marín-Guirao, L., and Ruiz, J. (2012) Tolerance of Mediterranean seagrasses (*Posidonia oceanica* and *Cymodocea nodosa*) to hypersaline stress: water relations and osmolyte concentrations. *Marine Biology* 159, 1129-1141.
- [8] Alfonso Avellán, S., Sandoval Gil, J.M., Marín Guirao, L., Bernardeau Esteller, J., Quiles Ródenas, M.J., García Muñoz, R., and Ruiz, M.J. (2010) Measuring the effects of hypersaline stress on seagrass (*Posidonia oceanica*) photosynthesis using fluorescence imaging. In: XVI Simposio Ibérico de Estudios de Biología Marina. Alicante (España).
- [9] Marín-Guirao, L., Sandoval-Gil, J.M., Ruiz, J.M., and Sánchez-Lizado, J.L. (2011) Photosynthesis, growth and survival of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* in response to simulated salinity increases in a laboratory mesocosm system. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 92, 286-296.

III. Descripción de los trabajos y resumen de resultados

De la búsqueda bibliográfica realizada, cabe mencionar que se han encontrado numerosas referencias sobre el estudio del efecto del incremento de salinidad en otra especie de *Posidonia*, la *Posidonia australis*, endémica de las costas australianas. Dado que todos estos estudios concluyen que esta especie es más tolerante al incremento de salinidad que la *P. oceanica* no se han considerado los resultados para este trabajo.

En cuanto a la *Posidonia oceanica*, destacar que todas las publicaciones encontradas pertenecen a estudios realizados por equipos de distintos Centros Nacionales de Investigación, la mayoría de ellos financiados por el gobierno.

Las más recientes forman parte los trabajos realizados para el proyecto OSMOGRASS: "Evaluación de bioindicadores de estrés osmótico en praderas de fanerógamas marinas mediterráneas. Aplicación al impacto ambiental de vertidos hipersalinos de plantas desalinizadoras". Este proyecto de investigación (2008- 2010) fue financiado por el Ministerio de Medio ambiente y por Instituto Español de Oceanografía y coordinado por el IEO de la región de Murcia. En él participaron además otras instituciones como la Universidad de Alicante y la Universidad Autónoma de México.

El objetivo principal del proyecto era la obtención de criterios de carácter científico-técnico aplicables a la predicción, evaluación y control de los efectos ambientales de los vertidos hipersalinos de las plantas desalinizadoras sobre el estado de conservación de hábitats marinos sensibles del Mediterráneo. Más concretamente, el proyecto centra su atención principalmente en las comunidades de la fanerógama marina mediterránea *Posidonia oceanica* y de otras especies menos abundantes en el litoral mediterráneo peninsular pero también importantes desde el punto de vista de la conservación de la biodiversidad marina: *Cymodocea nodosa* y *Zostera noltii*. Aunque con menos detalle también se plantea una primera

aproximación a las asociaciones de algas rojas calcáreas sobre detrítico costero o maërl, que confieren a los fondos detríticos circalitorales una importancia y valor ecológico similar al de *P. oceanica* en el piso infralitoral.

Para llevar a cabo este proyecto se propuso profundizar en aspectos ecofisiológicos de la respuesta de la vegetación bentónica al estrés osmótico causado por el incremento de la salinidad sobre el fondo, especialmente en etapas tempranas previas a la aparición de efectos letales irreversibles (indicadores de alerta temprana) efectuando las siguientes líneas de trabajo:

- Construcción y puesta en funcionamiento de un sistema experimental de mesocosmos para el estudio de la vegetación bentónica en condiciones de laboratorio.
- Evaluación experimental de las respuestas fisiológicas y estructurales de la vegetación bentónica (fanerógamas marinas *Posidonia oceanica*, *Cymodocea nodosa* y *Zostera noltii*, y maërl) al estrés osmótico asociado al incremento de la salinidad.
- Evaluación experimental del efecto de la interacción entre la salinidad y otros factores ambientales clave (luz, temperatura y energía hidrodinámica) sobre la respuesta a estrés osmótico de las fanerógamas marinas.

Actualmente y dada la importancia del proyecto, se está llevando a cabo una segunda fase como parte del plan nacional de I+D, 2010-2013. Este nuevo proyecto conocido como Osmograss II (“Respuesta de las angiospermas marinas mediterráneas *Posidonia oceanica* y *Cymodocea nodosa* al estrés hiperosmótico”) tiene como principales objetivos específicos:

- Determinar el efecto del periodo de exposición en condiciones hipersalinas en las condiciones fisiológicas y vegetativas de estas fanerógamas y su capacidad de recuperación después de sufrir el estrés hiperosmótico.
- Aplicación de los indicadores de estrés hiperosmótico de las angiospermas marinas a las praderas afectadas por vertidos de salmuera y/o gradientes naturales de salinidad.

En la siguiente tabla se resumen los resultados obtenidos para *Posidonia oceanica* (más adelante se muestran los resultados para otras fanerógamas) de las publicaciones encontradas en relación a estos proyectos:

Tabla 1: Resumen de resultados del efecto del incremento de salinidad en *Posidonia oceanica*

Referencia	Especie	Salinidad de referencia (psu)	Salinidad estudiada (psu)	Variable estudiada	Respuesta (Rs)	Zona de estudio	Exposición (Días)	Observaciones
Sandoval-Gil et al, 2010 [5]	<i>Posidonia oceanica</i>	37	>39	Reducción gradual de la presión hídrica y en la presión osmótica con acumulación de aminoácidos libres: Indicios de osmoregulación con alto coste metabólico.	Isla Plana, Murcia	47	Estudios del proyecto OSMOGRASS presentado en 4th Mediterranean Symposium on Marine Vegetation y resumido en [7]. Plantas aclimatadas a 37 psu. Exposición directa durante 47 días. Datos estimados a partir de gráficas. No se han considerado descriptores fisiológicos como el contenido en carbohidratos y aminoácidos.	
				Tasa de crecimiento; hojas nuevas ($\text{cm}^2 \text{ día}^{-1}$)				0.325 en el control
				Cambio neto de la planta (n° de haces)				0.300 en el tratamiento de salinidad Aumento del 0 % en el control
				Tasa de crecimiento; hojas nuevas ($\text{cm}^2 \text{ día}^{-1}$)				0.325 en el control
Sandoval-Gil et al, 2010 [6]	<i>Posidonia oceanica</i>	37	41	Cambio neto de la planta (n° de haces)	Aumento del 0 % en el control	Isla Plana, Murcia	47	Estudios del proyecto OSMOGRASS presentado en 4th Mediterranean Symposium on Marine Vegetation y resumido en [7]. Plantas aclimatadas a 37 psu. Exposición directa durante 47 días. Datos estimados a partir de gráficas. No se han considerado descriptores fisiológicos como el contenido en carbohidratos y aminoácidos.
				Tasa de crecimiento; hojas nuevas ($\text{cm}^2 \text{ día}^{-1}$)	0.28 en el tratamiento de salinidad			
				Cambio neto de la planta (n° de haces)	Reducción del 5% en tratamiento de salinidad			
				Tasa de crecimiento; hojas nuevas ($\text{cm}^2 \text{ día}^{-1}$)	0.325 en el control			
Alfonso Avelian et al, 2010 [8]	<i>Posidonia oceanica</i>	37	43	Cambio neto de la planta (n° de haces)	Aumento del 0 % en el control	Isla Plana, Murcia	60	Estudio muy específico de la alteración de la fotosíntesis en <i>Posidonia</i> (mayor alteración en parte apical de la planta que en la basal). Estudio del proyecto OSMOGRASS presentado en 4th Mediterranean Symposium on Marine Vegetation
				Tasa de crecimiento; hojas nuevas ($\text{cm}^2 \text{ día}^{-1}$)	0.22 en el tratamiento de salinidad			
				Cambio neto de la planta (n° de haces)	Aumento del 0 % en el control			
				Tasa de crecimiento; hojas nuevas ($\text{cm}^2 \text{ día}^{-1}$)	Reducción del 3% en tratamiento de salinidad			
Sandoval-Gil et al, 2010 [6]	<i>Posidonia oceanica</i>	37	39	Fotosíntesis, (emisión de fluorescencia)	Reducción de la actividad fotoquímica por daño en PSII y alteración del metabolismo del carbono fotosintético	Isla Plana, Murcia	47	Estudio del proyecto OSMOGRASS presentado en 4th Mediterranean Symposium on Marine Vegetation. Estos datos son estimados a partir de una gráfica. El periodo de exposición de estas plantas fue de 47 días. Este estudio se recoge junto con otros en [9]
				Tasa neta de fotosíntesis ($\text{umolO}_2\text{cm}^{-2}\text{h}^{-1}$)	1.6 en el control			
				Tasa bruta de fotosíntesis ($\text{umolO}_2\text{cm}^{-2}\text{h}^{-1}$)	1.1 en el tratamiento de salinidad			
				Tasa neta de fotosíntesis ($\text{umolO}_2\text{cm}^{-2}\text{h}^{-1}$)	1.8 en el control			
				Tasa bruta de fotosíntesis ($\text{umolO}_2\text{cm}^{-2}\text{h}^{-1}$)	1.45 en el tratamiento de salinidad			
				Tasa neta de fotosíntesis ($\text{umolO}_2\text{cm}^{-2}\text{h}^{-1}$)	1.6 en el control			
				Tasa bruta de fotosíntesis ($\text{umolO}_2\text{cm}^{-2}\text{h}^{-1}$)	1.15 en el tratamiento de salinidad			
				Tasa neta de fotosíntesis ($\text{umolO}_2\text{cm}^{-2}\text{h}^{-1}$)	1.8 en el control			
				Tasa bruta de fotosíntesis ($\text{umolO}_2\text{cm}^{-2}\text{h}^{-1}$)	1.55 en el tratamiento de salinidad			
				Tasa neta de fotosíntesis ($\text{umolO}_2\text{cm}^{-2}\text{h}^{-1}$)	1.6 en el control			
				Tasa bruta de fotosíntesis ($\text{umolO}_2\text{cm}^{-2}\text{h}^{-1}$)	1.2 en el tratamiento de salinidad			
				Tasa neta de fotosíntesis ($\text{umolO}_2\text{cm}^{-2}\text{h}^{-1}$)	1.8 en el control			
Marín-Guirao et al, 2011 [9]	<i>Posidonia oceanica</i>	37	41	Balace metabólico de hoja ($P_{\text{max}} \cdot R_d$)	9.5 en el control	Isla Plana, Murcia	47	Estudio del proyecto OSMOGRASS II. Alguno de los resultados que presenta son los mismos que [6] y por tanto no se consideran nuevamente. Analiza otros descriptores fisiológicos como absorción de luz o fluorescencia de la clorofila. También describe otros parámetros fenológicos como tamaño de la planta o porcentaje de superficie necrosada que no se incluyen porque se desconoce los valores iniciales. Estos datos son estimados a partir de una gráfica. Cambio gradual de la salinidad en los tratamientos (4h) tras aclimatación.
				Tasa de crecimiento; toda la planta ($\text{cm}^2 \text{ haz}^{-1} \text{ día}^{-1}$)	4 en el tratamiento de salinidad			
				Balace metabólico de hoja ($P_{\text{max}} \cdot R_d$)	1.45 en el control			
				Tasa de crecimiento; toda la planta ($\text{cm}^2 \text{ haz}^{-1} \text{ día}^{-1}$)	1.18 en el tratamiento de salinidad			
				Balace metabólico de hoja ($P_{\text{max}} \cdot R_d$)	9.5 en el control			
				Tasa de crecimiento; toda la planta ($\text{cm}^2 \text{ haz}^{-1} \text{ día}^{-1}$)	3.8 en el tratamiento de salinidad			
				Balace metabólico de hoja ($P_{\text{max}} \cdot R_d$)	1.45 en el control			
				Tasa de crecimiento; toda la planta ($\text{cm}^2 \text{ haz}^{-1} \text{ día}^{-1}$)	1.2 en el tratamiento de salinidad			
				Balace metabólico de hoja ($P_{\text{max}} \cdot R_d$)	9.5 en el control			
				Tasa de crecimiento; toda la planta ($\text{cm}^2 \text{ haz}^{-1} \text{ día}^{-1}$)	4 en el tratamiento de salinidad			
				Balace metabólico de hoja ($P_{\text{max}} \cdot R_d$)	1.45 en el control			
				Tasa de crecimiento; toda la planta ($\text{cm}^2 \text{ haz}^{-1} \text{ día}^{-1}$)	1.1 en el tratamiento de salinidad			

IV. Análisis de resultados y conclusiones

A la vista de estos resultados de la tabla de las páginas anteriores se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1.- En primer lugar es importante señalar que la salinidad de los distintos tratamientos ($s=39$ psu) superan los umbrales de tolerancia establecidos para estas plantas ($s_{lim}=38.5$ psu, $\Delta s_{lim}=1.5$ psu). Esto se debe a que los experimentos con *Posidonia oceanica* se realizaron al mismo tiempo que los de *Cymodocea nodosa* cuyo umbral de tolerancia estaba aun por determinar experimentalmente a pesar de que se viniera recomendando como incremento límite un umbral de 2 psu.

2.- En el gráfico de la Figura 4 puede verse como independientemente de la variable estudiada incrementos de salinidad de 2 psu sobre la salinidad de referencia o control conlleva una reducción de la respuesta de la planta de un 50% para el balance metabólico y de un 15% para la tasa de fotosíntesis y de crecimiento. No hay diferencia significativa de las respuestas para incrementos de salinidad de 2, 4 o 6 psu.

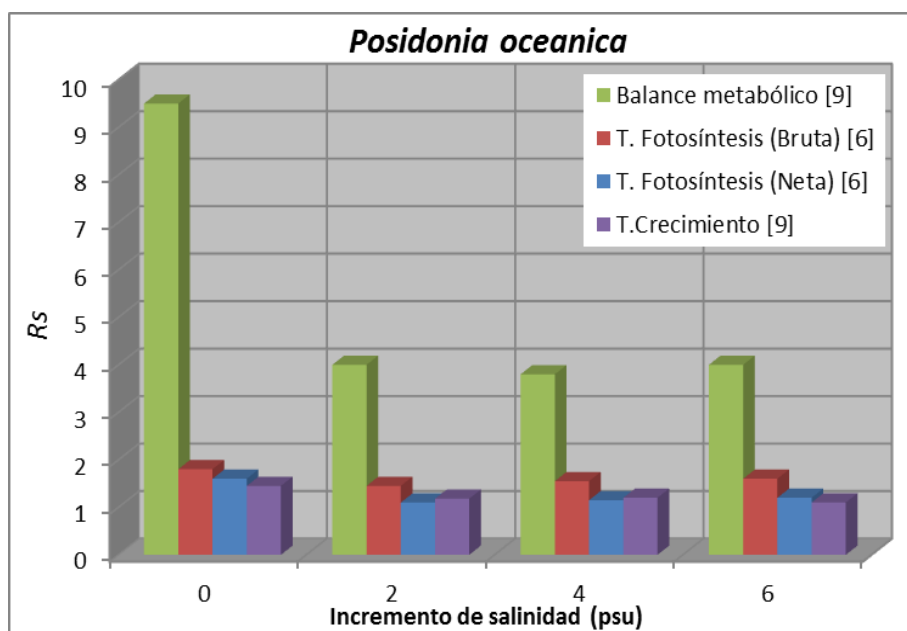


Figura 4: Respuesta a los incrementos de salinidad de *P.oceanica* para distintas variables

De todo lo anterior podemos concluir que, actualmente no existe información experimental suficiente para revisar los criterios de calidad establecidos por las DIAs de los últimos años.

Por tanto, a la vista de estos resultados, mientras no se aporten otros valores fruto del avance del conocimiento o de la armonización de la aplicación del principio de precaución con el impacto económico, se propone que se mantengan los límites aplicados hasta ahora, pero convertidos en incrementos de salinidad, ya sean absolutos o relativos. En otras palabras, se propone que se adopte como criterio de calidad para las praderas de *P. oceanica* una cualquiera de las dos siguientes alternativas:



CEDEX

– Alternativa 1:

- En ningún punto de la pradera podrá superarse el incremento de salinidad de 1.0 psu en más del 25% de las observaciones ($\Delta s_{lim,25}=1.0$ psu)
- En ningún punto de la pradera el incremento de salinidad podrá superar 2.5 psu en más del 5% de las observaciones ($\Delta s_{lim,5}=2.5$ psu)

– Alternativa 2:

- En ningún punto de la pradera podrá superarse el incremento relativo de salinidad de 0.027 en más del 25% de las observaciones ($r_{lim,25}=0.027$)
- En ningún punto de la pradera la salinidad podrá superarse el incremento relativo de salinidad de 0.067 en más del 5% de las observaciones ($r_{lim,5}=0.067$)

5.1.2 *Cymodocea nodosa*

I. Antecedentes

Además de la *Posidonia oceanica*, endémica del mediterráneo, existen otras fanerógamas marinas en nuestro litoral. En primer lugar, dada su abundancia, su amplia distribución en la costa española (mar Mediterráneo y Canarias) y su valor ecológico destacamos en este apartado la *Cymodocea nodosa*.

Si bien es cierto que a diferencia de lo que sucede con la *Posidonia*, durante los primeros años de investigación no se realizaron estudios experimentales para determinar los umbrales de tolerancia al aumento de salinidades del medio marino de la *Cymodocea*, es sabido, por los lugares donde habita: Mediterráneo (salinidad de 37,5 psu), en Canarias (35 psu) y hasta en el Mar Menor de Murcia (más de 43 psu), que es una fanerógama que tolera mejor las variaciones de salinidad que la *Posidonia*.

Por esta razón, y a falta de realizar estudios más específicos, las DIAs que se han aprobado en los últimos años establecen de forma reiterada que en las inmediaciones del vertido que se realiza próximos a praderas de *Cymodocea nodosa* no podrán sobrepasarse la concentración $s_{25, lim}$ en más de un 25% de las observaciones ni la concentración $s_{5, lim}$ en más de un 5% de las observaciones, donde $s_{25, lim}$ y $s_{5, lim}$ tienen los valores de la tabla siguiente:

Hábitat	$s_{25, lim}$	$s_{5, lim}$
Praderas de <i>Cymodocea nodosa</i>	39,5	41,0

No obstante, las propias DIAs especifican que los valores establecidos están sujetos a variaciones derivados de los avances en el conocimiento del efecto de la salmuera en estos organismos. Uno de los objetivos del presente informe consiste en revisar la bibliografía publicada desde 2005 con el objeto de determinar si deben modificarse dichos valores. A continuación se exponen los nuevos trabajos publicados sobre este tema.



II. Bibliografía revisada

En este contexto, durante los últimos años, se han desarrollado varios proyectos con el objeto de superar esta carencia en datos experimentales que determinen los umbrales de tolerancia de la *Cymodocea*. Muchos de estos estudios han sido publicados conjuntamente con los resultados obtenidos para *Posidonia oceanica* con el objetivo de comparar ambas especies. Como parte del trabajo para la redacción del presente informe, se han localizado y revisado también las siguientes referencias:

- [10] Fernández Torquemada, Y., and Sánchez Lizaso, J.L. (2006) Effects of salinity on growth and survival of *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson and *Zostera noltii* Hornemann. *Biologia Marina Mediterranea*. 13, 46-47.
- [11] Fernandez-Torquemada, Y., and Sanchez-Lizaso, J.L. (2011) Responses of two Mediterranean seagrasses to experimental changes in salinity. *Hydrobiologia* 669, 21-33.
- [12] Pages, J.F., Perez, M., and Romero, J. (2010) Sensitivity of the seagrass *Cymodocea nodosa* to hypersaline conditions: A microcosm approach. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 386, 34-38.
- [13] Portillo Hahnafeld, E., Ruiz Fernández, J.M., Marín Guirao, L., and Ruiz de la Rosa, M. (2012) Evaluación del efecto de la salmuera en la fanerógama marina *Cymodocea nodosa*: Toxicidad crónica en mesocosmos In: Informe Técnico: Proyecto del Plan Nacional de Investigación: N° EXP. 004/RN08/03.3 (Proyecto Venturi).
- [14] Ruiz de la Rosa, M. (2012) Evaluación del efecto de la salmuera en la fanerógama marina *Cymodocea nodosa*: Toxicidad aguda en mesocosmos. . In: Informe Técnico: Proyecto del Plan Nacional de Investigación: N° EXP. 004/RN08/03.3 (Proyecto Venturi).
- [15] Ruiz de la Rosa, M. (2012) Evaluación del efecto de la salmuera en la fanerógama marina *Cymodocea nodosa*: Experimento in situ In: Informe Técnico: Proyecto del Plan Nacional de Investigación: N° EXP. 004/RN08/03.3 (Proyecto Venturi).

III. Descripción de los trabajos y resumen de resultados

De nuevo cabe destacar que todas las publicaciones encontradas pertenecen a estudios realizados por equipos de distintos Centros Nacionales de Investigación, la mayoría de ellos financiados por el gobierno. Salvo el estudio realizado por Pagès et al. [12] en el 2010, que también fue financiado, entre otros, por el entonces Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, el resto de los artículos que se mencionan en el apartado anterior son el resultado de amplios proyectos de investigación que se han llevado a cabo durante los últimos años. Además del proyecto OSSMOGRAS dedicado a varias fanerógamas y descrito en el apartado referente a la *Posidonia oceanica*, destacamos los siguientes proyectos:

1. Por un lado, ACUAMED, promotora de gran parte de las plantas desaladoras construidas o proyectadas durante los últimos años en el litoral mediterráneo, solicitó al Departamento de Ciencias Marinas y Biología Aplicada de la Universidad de Alicante un estudio sobre el efecto del incremento de salinidad en otras fanerógamas marinas, distintas de la *Posidonia oceanica*, presentes también en el mar mediterráneo, como son *Cymodocea nodosa* y *Zostera noltii*, con objeto de determinar sus umbrales de tolerancia. Los primeros



CEDEX

resultados de esta investigación, fueron publicados por Torquemada et al [10] en el año 2006. Más adelante, estos resultados, junto con otros estudios realizados con estas fanerógamas han sido publicados con más detalle por Torquemada et al (2011) [11]. Por tanto para obtener la mayor información posible se han considerado los datos presentados en la publicación más reciente como parte de la documentación analizada para la realización del presente informe.

2. Otro proyecto recientemente finalizado del plan Nacional de I+D, en el que se ha dado especial importancia a determinar el efecto del incremento de salinidad en la *Cymodocea nodosa* es conocido como Proyecto Venturi: “Estudio de la viabilidad técnica de los difusores Venturi en vertidos de salmuera procedentes de desaladoras como mejora del proceso de dilución y reducción del impacto ambiental en los ecosistemas marinos”.

Para poder establecer la relación entre la capacidad de mejora del proceso de dilución de la salmuera y la reducción del impacto ambiental en los ecosistemas marinos, objetivo principal del proyecto, una de las tareas en las que se dividió el proyecto ha consistido en evaluar el efecto de la salmuera sobre las praderas marinas de *Cymodocea nodosa* con dos enfoques diferentes:

- Estudio en mesocosmos (ensayos de laboratorio) del efecto de los distintos componentes de un vertido de salmuera y de las variaciones en la calidad del agua producidas por el vertido sobre la *Cymodocea*.
- Estudio en macrocosmos (medidas de campo) sobre las praderas próximas al vertido de la planta desaladora de Maspalomas II, en Gran Canaria.

Este proyecto, en el que, entre otros, también ha participado el CEDEX, ha sido coordinado por el Instituto Tecnológico de Canarias (ITC), responsable además de la ejecución de la tarea relativa a los estudios sobre la pradera de *Cymodocea*, para lo que ha contado con la ayuda de la empresa ECOS, Estudios Ambientales.

Como resultados de este proyecto, se han publicado, entre otros artículos que no tienen interés para el presente estudio, las referencias [13-15] mencionadas en el apartado anterior y analizadas para la redacción del presente informe.

En la tabla de las páginas siguientes se recogen los principales resultados obtenidos en estos trabajos.

Tabla 2: Resumen de resultados del efecto del incremento de salinidad en *Cymodocea nodosa*

Referencia	Especie	Salinidad referencia (psu)	Salinidad estudiada (psu)	Variable estudiada	Respuesta (Rs)	Zona de estudio	Exposición (días)	Observaciones
Torquemada et al, 2006 y 2011 [10, 11]	<i>Cymodocea nodosa</i>	37	30-39	Tasa de crecimiento (% del control)	Máximo crecimiento de los brotes, mínima mortalidad	Alicante, España	10	Se menciona que el experimento se llevó a cabo durante un corto periodo de tiempo (poco periodo de exposición sin aclimatación y con organismos adultos). Se examinaron salinidades de 2-72 psu. Porcentajes estimados a partir de las gráficas.
				Tasa de mortalidad (% del total)	90 en tratamiento de salinidad			
			41	Tasa de mortalidad (% del total)	0 en el control			
				Tasa de crecimiento (% del control)	10 en tratamiento de salinidad			
				Tasa de mortalidad (% del total)	60 en tratamiento de salinidad			
			45	Tasa de mortalidad (% del total)	0 en el control			
				Tasa de crecimiento foliar (cm ² haz ⁻¹ día ⁻¹)	25 en tratamiento de salinidad			
			44	Tasa de mortalidad (%)	0 en el control			
				Tasa de crecimiento foliar (cm ² haz ⁻¹ día ⁻¹)	0.13 en el control			
				Tasa de mortalidad (%)	0.10 en tratamiento de salinidad			
				Tasa de mortalidad (%)	20 en tratamiento de salinidad			
47	Tasa de crecimiento foliar (cm ² haz ⁻¹ día ⁻¹)	0 en el control						
	Tasa de mortalidad (%)	0.13 en el control						
	Tasa de crecimiento foliar (cm ² haz ⁻¹ día ⁻¹)	0.11 en tratamiento de salinidad						
	Tasa de mortalidad (%)	0 en el control						
37	Tasa de crecimiento foliar (cm ² haz ⁻¹ día ⁻¹)	18 en tratamiento de salinidad						
	Tasa de mortalidad (%)	0.125 en el control						
	Tasa de crecimiento foliar (cm ² haz ⁻¹ día ⁻¹)	0.14 en tratamiento de salinidad						
	Tasa de mortalidad (%)	0 en el control						
44	Tasa de crecimiento foliar (cm ² haz ⁻¹ día ⁻¹)	0 en tratamiento de salinidad						
	Tasa de mortalidad (%)	0 en el control						
	Tasa de crecimiento foliar (cm ² haz ⁻¹ día ⁻¹)	0.125 en el control						
	Tasa de mortalidad (%)	0.095 en tratamiento de salinidad						
Pagès et al, 2010 [12]	<i>Cymodocea nodosa</i>	37.2	44	Tasa de supervivencia (%)	10 en tratamiento de salinidad	Badia dels Alfacs del Delta del Ebro	17	Se menciona que el experimento se llevó a cabo durante un corto periodo de tiempo con organismos menores a un año. Con mayores exposiciones los límites de tolerancia podrían ser menores. Aclimatación de las plantas durante cinco días a 37.2 psu. Aumento gradual de la salinidad (durante una hora). Datos estimados a partir de gráficas. No se han considerado otros descriptores fenológicos de los que no se puede analizar la respuesta porque se desconoce el valor inicial (%necrosis, y biomasa de hojas y rizomas).
				Tasa de crecimiento foliar (mgDW Haz ⁻¹ día ⁻¹)	100 en el control			
			54	Tasa de supervivencia (%)	100 en el tratamiento de salinidad			
				Eficiencia fotosintética (Fv/Fm)	Reducción del 13 % en el control			
				Biomasa de la raíz (gdW)	Reducción del 15 % en tratamiento de salinidad			
			54	Tasa de crecimiento foliar (mgDW Haz ⁻¹ día ⁻¹)	Aumento del 150 % en el control			
				Tasa de supervivencia (%)	Aumento del 100 % en tratamiento de salinidad			
				Tasa de crecimiento foliar (mgDW Haz ⁻¹ día ⁻¹)	1.07 en el control			
			54	Tasa de supervivencia (%)	100 en el control			
				Eficiencia fotosintética (Fv/Fm)	100 en el tratamiento de salinidad			
				Biomasa de la raíz (gdW)	Reducción del 13 % en el control			
54	Tasa de crecimiento foliar (mgDW Haz ⁻¹ día ⁻¹)	Reducción del 15 % en tratamiento de salinidad						
	Tasa de supervivencia (%)	Aumento del 150 % en el control						
	Tasa de crecimiento foliar (mgDW Haz ⁻¹ día ⁻¹)	Aumento del 100 % en tratamiento de salinidad						
54	Tasa de supervivencia (%)	1.07 en el control						
	Tasa de crecimiento foliar (mgDW Haz ⁻¹ día ⁻¹)	0.85 en tratamiento de salinidad						
	Tasa de supervivencia (%)	100 en el control						
54	Tasa de supervivencia (%)	100 en el control						
	Tasa de crecimiento foliar (mgDW Haz ⁻¹ día ⁻¹)	90 en el tratamiento de salinidad						
	Tasa de supervivencia (%)	90 en el tratamiento de salinidad						

Referencia	Especie	Salinidad referencia (psu)	Salinidad estudiada (psu)	Variable estudiada	Respuesta (Rs)		Zona de estudio	Exposición (días)	Observaciones
Pagès et al, 2010 [12]	<i>Cymodocea nodosa</i>	37.2	62	Eficiencia fotosintética (Fv/Fm)	Reducción del 13 % en el control	Badia dels Alfacs del Delta del Ebro	17	Se menciona que el experimento se llevó a cabo durante un corto periodo de tiempo con organismos menores a un año. Con mayores exposiciones los límites de tolerancia podrían ser menores. Aclimatación de las plantas durante cinco días a 37.2 psu. Aumento gradual de la salinidad (durante una hora). Datos estimados a partir de gráficas. No se han considerado otros descriptores fenológicos de los que no se puede analizar la respuesta porque se desconoce el valor inicial (%necrosis, y biomasa de hojas y rizomas).	
				Biomasa de la raíz (gDW)	Reducción del 54 % en tratamiento de salinidad				
				Tasa de crecimiento foliar (mgDW Haz ⁻¹ día ⁻¹)	Aumento del 150 % en el control				
				Tasa de supervivencia (%)	Aumento del 0 % en tratamiento de salinidad				
Sandoval – Gil et al, 2010 [5]	<i>Cymodocea nodosa</i>	37	>44		1.07 en el control	Isla Plana, Murcia	47	Estudios del proyecto OSMOGRASS presentado en 4th Mediterranean Symposium on Marine Vegetation and resumido en [7]. Plantas aclimatadas a 37 psu. Exposición directa. Datos estimados a partir de gráficas. No se han considerado descriptores fisiológicos como el contenido en carbohidratos y aminoácidos.	
					0.45 en tratamiento de salinidad				
Sandoval-Gil et al, 2010 [6]	<i>Cymodocea nodosa</i>	37	39	Tasa de crecimiento (mgDW Haz ⁻¹ día ⁻¹)	100 en el control	Isla Plana, Murcia	45	Estudio del proyecto OSMOGRASS presentado en 4th Mediterranean Symposium on Marine Vegetation. Estos datos son estimados a partir de una gráfica. El periodo de exposición de estas plantas fue de 45 días.	
				Cambio neto de la planta (nº de haces)	85 en el tratamiento de salinidad				
				Tasa de crecimiento (mgDW Haz ⁻¹ día ⁻¹)	Mayor porcentaje de hoja necrosada cuanto mayor es la salinidad del tratamiento				
				Cambio neto de la planta (nº de haces)	Menor Biomasa de las hojas y los rizomas cuanto mayor es la salinidad en el tratamiento				
				Tasa de crecimiento (mgDW Haz ⁻¹ día ⁻¹)	Reducción gradual de la presión hídrica, sin cambios en la presión osmótica y reducción de la presión turgor. Indicios de osmoregulación				
				Cambio neto de la planta (nº de haces)	0.062 en el control				
				Tasa de crecimiento (mgDW Haz ⁻¹ día ⁻¹)	0.065 en el tratamiento de salinidad				
				Cambio neto de la planta (nº de haces)	Aumento del 2 % en el control				
				Tasa de crecimiento (mgDW Haz ⁻¹ día ⁻¹)	Aumento del 0 % en tratamiento de salinidad				
				Cambio neto de la planta (nº de haces)	0.062 en el control				
				Tasa de crecimiento (mgDW Haz ⁻¹ día ⁻¹)	0.055 en el tratamiento de salinidad				
				Cambio neto de la planta (nº de haces)	Aumento del 2 % en el control				
Sandoval-Gil et al, 2010 [6]	<i>Cymodocea nodosa</i>	37	39	Tasa neta de fotosíntesis (umolO ₂ cm ⁻² h ⁻¹)	Aumento del 0 % en tratamiento de salinidad	Isla Plana, Murcia	52	Estudio en mesocosmos outdoor realizado como parte del proyecto Venturi de I+D.	
				Tasa bruta de fotosíntesis (umolO ₂ cm ⁻² h ⁻¹)	0.062 en el control				
				Tasa neta de fotosíntesis (umolO ₂ cm ⁻² h ⁻¹)	0.06 en el tratamiento de salinidad				
				Tasa bruta de fotosíntesis (umolO ₂ cm ⁻² h ⁻¹)	Aumento del 2 % en el control				
				Tasa neta de fotosíntesis (umolO ₂ cm ⁻² h ⁻¹)	Aumento del 2 % en el control				
				Tasa bruta de fotosíntesis (umolO ₂ cm ⁻² h ⁻¹)	0.062 en el control				
				Tasa neta de fotosíntesis (umolO ₂ cm ⁻² h ⁻¹)	0.06 en el tratamiento de salinidad				
				Tasa bruta de fotosíntesis (umolO ₂ cm ⁻² h ⁻¹)	Aumento del 2 % en el control				
				Tasa neta de fotosíntesis (umolO ₂ cm ⁻² h ⁻¹)	Aumento del 2 % en el control				
				Tasa bruta de fotosíntesis (umolO ₂ cm ⁻² h ⁻¹)	1.35 en el control				
				Tasa neta de fotosíntesis (umolO ₂ cm ⁻² h ⁻¹)	1.2 en el tratamiento de salinidad				
				Tasa bruta de fotosíntesis (umolO ₂ cm ⁻² h ⁻¹)	1.55 en el control				
Portillo et al, 2012 [13]	<i>Cymodocea nodosa</i>	37	39	Tasa neta de fotosíntesis (umolO ₂ cm ⁻² h ⁻¹)	1.6 en el tratamiento de salinidad	Maspalomas, Gran Canaria	52	Estudio en mesocosmos outdoor realizado como parte del proyecto Venturi de I+D.	
				Tasa bruta de fotosíntesis (umolO ₂ cm ⁻² h ⁻¹)	1.35 en el control				
				Tasa neta de fotosíntesis (umolO ₂ cm ⁻² h ⁻¹)	1.18 en el tratamiento de salinidad				
				Tasa bruta de fotosíntesis (umolO ₂ cm ⁻² h ⁻¹)	1.55 en el control				
Portillo et al, 2012 [13]	<i>Cymodocea nodosa</i>	37	39	Tasa neta de fotosíntesis (umolO ₂ cm ⁻² h ⁻¹)	1.15 en el control	Maspalomas, Gran Canaria	52	Estudio en mesocosmos outdoor realizado como parte del proyecto Venturi de I+D.	
				Tasa bruta de fotosíntesis (umolO ₂ cm ⁻² h ⁻¹)	1.55 en el control				
Portillo et al, 2012 [13]	<i>Cymodocea nodosa</i>	37	39	Anchura foliar (cm)	Reducción del 14 % en el control	Maspalomas, Gran Canaria	52	Estudio en mesocosmos outdoor realizado como parte del proyecto Venturi de I+D.	
				Superficie foliar viva (cm ² haz ⁻¹)	Reducción del 30% en tratamiento de salinidad				
Portillo et al, 2012 [13]	<i>Cymodocea nodosa</i>	37	39	Superficie foliar viva (cm ² haz ⁻¹)	Reducción del 12 % en el control	Maspalomas, Gran Canaria	52	Estudio en mesocosmos outdoor realizado como parte del proyecto Venturi de I+D.	
					Reducción del 60% en tratamiento de salinidad				

Referencia	Especie	Salinidad referencia (psu)	Salinidad estudiada (psu)	Variable estudiada	Respuesta (Rs)	Zona de estudio	Exposición (días)	Observaciones
Portillo et al, 2012 [13]	<i>Cymodocea nodosa</i>	37	39	Superficie foliar total (cm ² haz ⁻¹)	Reducción del 12 % en el control	Maspalomas, Gran Canaria	52	Acimatación de 60 días con plántulas y plantas adultas (datos relativos a plantas adultas expuestas a salmuera diluida en esta tabla). Estudia descriptores fisiológicos además de los fenológicos resumidos en esta tabla. Exposición directa a salinidad de estudio. Datos estimados a partir de gráficas
				Nº de hojas (hojas haz ⁻¹)	Reducción del 54 % en tratamiento de salinidad			
				Longitud del peciolo (cm)	Aumento del 20 % en el control			
				Tejido necrosado (%)	Reducción del 7% en tratamiento de salinidad			
				Tasa de crecimiento foliar (cm ² haz ⁻¹ día ⁻¹)	Reducción del 20 % en el control			
				Reclutamiento (nuevos individuos)	Reducción del 48 % en tratamiento de salinidad			
				Tasa de supervivencia (%)	Reducción del 100 % en el control			
				Tasa de crecimiento foliar (cm ² haz ⁻¹ día ⁻¹)	Aumento del 300% en tratamiento de salinidad			
				Tasa de supervivencia (%)	0.16 en el control			
				Tasa de supervivencia (%)	0,04 en tratamiento de salinidad			
Ruiz de la Rosa et al, 2012 [14]	<i>Cymodocea nodosa</i>	37	41	Tasa de supervivencia (%)	20 en el control	Maspalomas, Gran Canaria	25	Estudio en mesocosmos <i>Indoor</i> (condiciones controladas) realizado como parte del proyecto Venturi de I+D. Acimatación de 45 días con plántulas germinadas en laboratorio. Estudia descriptores fisiológicos además de los fenológicos resumidos en esta tabla. No se han considerado otros descriptores fenológicos de los que no se puede analizar la respuesta porque se desconoce el valor inicial (Superficie foliar, %necrosis, ancho de hoja, nº de hojas). Datos estimados a partir de gráficas. Exposición directa a salinidad de estudio
				Tasa de crecimiento foliar (cm ² haz ⁻¹ día ⁻¹)	2 en tratamiento de salinidad			
				Tasa de supervivencia (%)	100 en el control			
				Tasa de supervivencia (%)	99 en tratamiento de salinidad			
				Tasa de supervivencia (%)	0.8 en el control			
				Tasa de supervivencia (%)	0.82 en tratamiento de salinidad			
				Tasa de supervivencia (%)	100 en el control			
				Tasa de supervivencia (%)	95 en tratamiento de salinidad			
				Tasa de supervivencia (%)	0.8 en el control			
				Tasa de supervivencia (%)	0.75 en tratamiento de salinidad			
Ruiz de la Rosa et al, 2012 [15]	<i>Cymodocea nodosa</i>	37	41	Tasa de supervivencia (%)	100 en el control	Maspalomas, Gran Canaria.	210	Estudio de campo (descripción de la pradera y trasplante) realizado como parte del proyecto Venturi de I+D en las inmediaciones de la planta desaladora Maspalomas II. Trasplante de pradera anexa. Datos estimados a partir de gráficas para plantas trasplantadas durante el verano. Exposición directa a salinidad de estudio. Datos estimados a partir de gráficas
				Tasa de supervivencia (%)	90 en tratamiento de salinidad			
				Tasa de supervivencia (%)	0.8 en el control			
				Tasa de supervivencia (%)	0.65 en tratamiento de salinidad			
				Tasa de supervivencia (%)	Límite de aparición de parches de <i>Cymodocea</i> en área de influencia del vertido de la desaladora			
				Tasa de supervivencia (%)	Reducción del 5 % en el control			
				Tasa de supervivencia (%)	Reducción del 76 % en tratamiento de salinidad			
				Tasa de supervivencia (%)	Aumento del 380 % en el control			
				Tasa de supervivencia (%)	Aumento del 400% en tratamiento de salinidad			
				Tasa de supervivencia (%)	100 en el control			
Tasa de supervivencia (%)	20 en tratamiento de salinidad							
			38.5	Densidad de haces total (nº de haces)	Reducción del 5 % en el control			
				Tejido necrosado (%)	Reducción del 105 % en tratamiento de salinidad			
				Tasa de supervivencia (%)	Aumento del 380 % en el control			
				Tasa de supervivencia (%)	Aumento del 380 % en tratamiento de salinidad			
			43	Tasa de supervivencia (%)	100 en el control			
				Tasa de supervivencia (%)	90 en tratamiento de salinidad			
				Tasa de supervivencia (%)	0.8 en el control			
				Tasa de supervivencia (%)	0.65 en tratamiento de salinidad			
			39	Densidad de haces total (nº de haces)	Reducción del 5 % en el control			
				Tejido necrosado (%)	Reducción del 76 % en tratamiento de salinidad			
				Tasa de supervivencia (%)	Aumento del 380 % en el control			
				Tasa de supervivencia (%)	Aumento del 400% en tratamiento de salinidad			
			39	Tasa de supervivencia (%)	100 en el control			
				Tasa de supervivencia (%)	90 en tratamiento de salinidad			
				Tasa de supervivencia (%)	0.8 en el control			
				Tasa de supervivencia (%)	0.65 en tratamiento de salinidad			
			41	Densidad de haces total (nº de haces)	Reducción del 5 % en el control			
				Tejido necrosado (%)	Reducción del 105 % en tratamiento de salinidad			
				Tasa de supervivencia (%)	Aumento del 380 % en el control			
				Tasa de supervivencia (%)	Aumento del 380 % en tratamiento de salinidad			
			41	Tasa de supervivencia (%)	100 en el control			
				Tasa de supervivencia (%)	90 en tratamiento de salinidad			
				Tasa de supervivencia (%)	0.8 en el control			
				Tasa de supervivencia (%)	0.65 en tratamiento de salinidad			



CEDEX

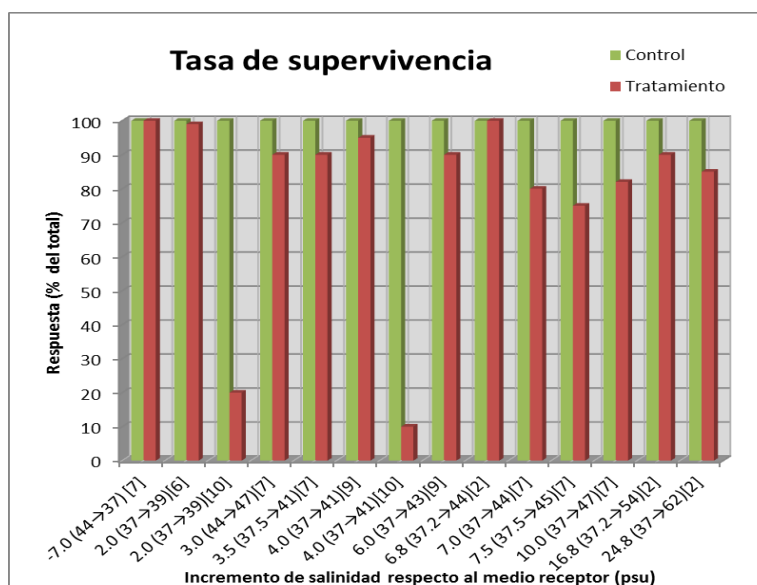
IV. Análisis de resultados y conclusiones

A la vista de estos resultados se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1.- En primer lugar cabe mencionar la heterogeneidad entre las variables analizadas y las respuestas obtenidas de cada variable. Desde el punto de vista de tratar de determinar una salinidad límite, es lógico suponer que la repercusión de respuestas tipo supervivencia o crecimiento de las plantas es mayor que otras como la tasa de fotosíntesis o los potenciales hídricos de la planta, cuya estimación en el grado de impacto de la salinidad no puede realizarse de forma directa y que podría representar simplemente respuestas de adaptación a una modificación de las condiciones del medio. Del mismo modo, es importante subrayar que los porcentajes de la respuesta observada en los distintos tratamientos comparados con la respuesta en el control son muy variables. Esto se debe en gran medida a que en la mayoría de los estudios realizados, los incrementos de salinidad en los distintos tratamientos son muy amplios dificultando una estimación precisa de la máxima salinidad tolerada por la planta.

2.- Si bien es cierto, que en la discusión de resultados de los estudios remarcan no haber encontrado efectos estadísticamente significativos a salinidades del entorno de 41 psu, otros autores observan efectos importantes con salinidades de 39 psu. Además, los primeros, a pesar de indicar en las publicaciones el hecho de una mayor tolerancia de *Cymodocea*, remarcan la necesidad de tomar estos resultados con cautela ya que se realizaron con escalas espacio-temporales en condiciones de laboratorio que podrían enmascarar otros efectos negativos de la salmuera.

3.- Independientemente de lo mencionado en el párrafo anterior, conviene hacer notar que las salinidades a las que se observa algún tipo de respuesta de la planta, dependen en cierta medida de la salinidad natural del medio receptor (o salinidades control) a la que está aclimatada la planta. Por tanto para poder comparar el conjunto de resultados resumidos en la tabla del apartado anterior, en las siguientes graficas se representan las repuestas obtenidas para las dos variables consideradas más importantes en función del incremento de salinidad en el tratamiento respecto a la salinidad en el control. Se han seleccionado para su representación aquellas variables elegidas y estudiadas por la mayoría de los autores por su repercusión para determinar el umbral de tolerancia de la *Cymodocea* y se han representado por orden creciente de incremento de salinidad respecto al control.



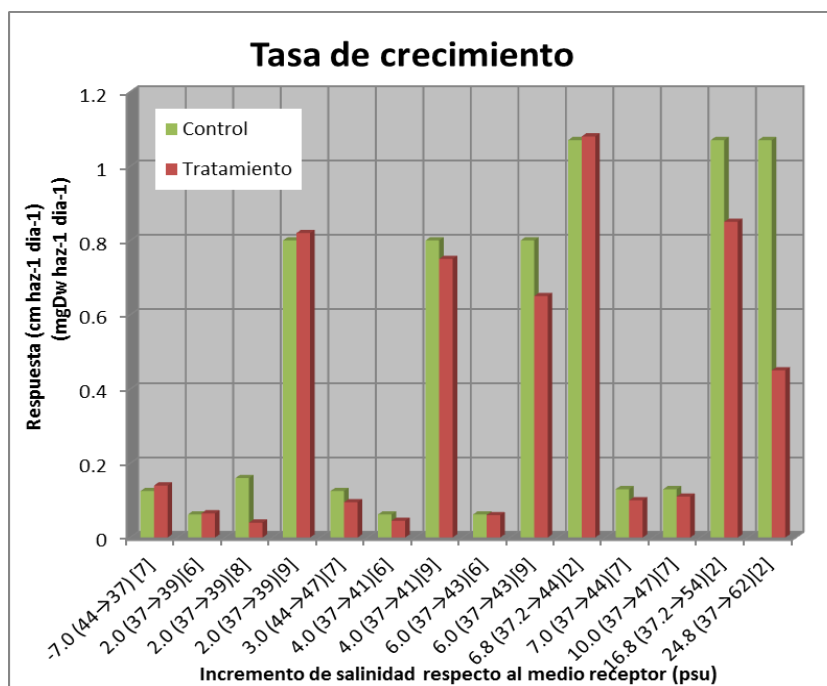


Figura 5: Respuesta de *Cymodocea nodosa* al incremento de salinidad respecto a la salinidad del control. Arriba; Tasa de supervivencia. Abajo; Tasa de crecimiento

En ambos gráficos pueden distinguirse tres zonas (aunque con algunas excepciones) en las que el incremento de salinidad afecta de diferente manera a la variable estudiada:

- Una primera zona hasta incrementos de salinidad respecto al control de 2 psu, en la que con excepción de un estudio en cada variable, no se observa ninguna influencia de este incremento de salinidad ni sobre la tasa de supervivencia ni sobre la de crecimiento. En el caso de la tasa mortalidad, este estudio, en el que se observa una marcada reducción en el tratamiento de salinidad en comparación con el control, corresponde con el único trabajo (de todas las publicaciones analizadas) realizado en el campo (Ruiz de la Rosa et al [15]) con plantas trasplantadas procedentes de una pradera anexa, pudiendo influir este trasplante o el modo de aplicar el tratamiento en los resultados. En cuanto a la tasa de crecimiento, si bien es cierto que el estudio en el que se observó, un efecto muy pronunciado con incrementos de salinidad del 2 psu (Portillo et al [13]) no se realizó en el campo, si que se realizó con un sistema "outdoor" donde otras condiciones ambientales no pueden mantenerse tan controladas como en condiciones de laboratorio "indoor" donde se realizaron el resto de los experimentos analizados. Por ello y teniendo en cuenta que otros estudios realizados con las mismas poblaciones no muestran ningún efecto con estos incrementos de salinidad (Ruiz de la Rosa et al [14]), parece que el efecto observado en los tratamientos podría corresponder a otros factores distinto del exceso de salinidad.

Conviene hacer notar que un incremento de salinidad de 2.0 psu sobre el medio receptor, en el caso del mar Mediterráneo donde la salinidad media es de 37.5 psu equivale a 39.5 psu, que coincide con el umbral de salinidad permitido por las DIAs en el caso de la presencia de esta planta en las inmediaciones de un vertido como $S_{lim,25}$.

- En la segunda zona, con incrementos de salinidad entre 3.0 y 6.8 psu, en ambas variables se observa algún tipo de efecto de la salinidad en los tratamientos en comparación con los resultados en el control, no muy pronunciado pero evidente (tasas



CEDEX

de supervivencia del 90% o mayores). De nuevo, la tasa de supervivencia del tratamiento de salinidad (incremento de 4 psu respecto al control) del estudio llevado a cabo en el campo con plantas trasplantadas (Ruiz de la Rosa et al [15]) muestra una reducción muy significativa en comparación con el resto de estudios analizados.

Por otro lado, se observa otro caso (Pagès et al [12]) en el que con incrementos de salinidad de 6.8 psu no se aprecia ningún efecto sobre la tasa de supervivencia, mejorando incluso la tasa de crecimiento de la planta. Estos datos no coinciden con el resto de estudios analizados y se desconocen las causas que hayan podido provocar la diferencia entre este y el resto de experimentos.

- c) Por último, incrementos de salinidad iguales o mayores de 7 psu provocan diferencias pronunciadas entre los tratamientos de salinidad y los controles, llegando incluso a tasas de supervivencia por debajo del 80%.

De todo lo anterior podemos concluir que, actualmente existe información experimental suficiente para revisar los criterios de calidad establecidos por las DIAs de los últimos años. Teniendo en cuenta que:

- Incrementos de salinidad entre 3.0 y 6.8 psu producen efectos poco pronunciados,
- Se trata de incrementos de salinidad mantenidos el 100% del tiempo de duración de los ensayos, y
- La influencia de la dilución requerida sobre el coste del dispositivo de vertido y sobre otros efectos ambientales (p.e. por mayores longitudes de emisario o potencias de bombeo) es importante,

se propone adoptar como nuevos criterios de calidad para las praderas de *Cymodocea nodosa* que el incremento de salinidad sobre el medio receptor no exceda 3 psu durante más del 25% del tiempo, ni 6 psu durante más del 5% del tiempo o bien, que el incremento relativo de salinidad no exceda de 0.081 más del 25 % del tiempo ni de 0.162 más del 5% del tiempo. Todo ello se resume en la tabla siguiente:

Propuesta de nuevos criterios de calidad sobre incrementos de salinidad para praderas de <i>Cymodocea nodosa</i>		
Alternativa 1:	$\Delta s_{lim,25} = 3$ psu	$\Delta s_{lim,5} = 6$ psu
Alternativa 2:	$r_{lim,25} = 0.081$	$r_{lim,5} = 0.162$

5.1.3 Otras fanerógamas

I. Antecedentes

En Europa pueden encontrarse cinco especies de fanerógamas marinas: *Posidonia oceanica*, *Cymodocea nodosa*, *Zostera marina*, *Z. noltii* y *Halophila decipiens*. Estas especies son autóctonas de las costas europeas, y todas ellas están presentes en el litoral español.

Aunque menos abundantes y sensibles que la *Posidonia* y la *Cymodocea* mencionadas en los apartados anteriores, la importancia para las comunidades marinas del resto de especies presentes en el litoral español por su contribución a la producción de biomasa y oxígeno, típica



de las praderas de fanerógamas, podría verse alterada por la afección de un incremento de salinidad en el medio.

Si bien es cierto que no han sido tan ampliamente estudiadas como las primeras, se han encontrado diversos estudios que analizan la respuesta de distintas especies a los cambios en la salinidad del medio.

En este apartado se han considerado también los estudios encontrados para *Ruppia marítima*, cuya clasificación como planta superior marina o fanerógama es cuestionada por distintos autores.

II. Bibliografía revisada

A diferencia de lo que sucede con *Posidonia oceanica* y *Cymodocea nodosa* los artículos encontrados para el resto de fanerógamas son más heterogéneos en cuanto a la nacionalidad del equipo de investigación, la distribución y la procedencia de las plantas y el año en el que se realiza dichos estudio, remontándose alguno de ellos a los años 70 y 80.

Como parte del trabajo para la redacción del presente informe, se han localizado y revisado las siguientes referencias:

- [16] Biebl, R., and McRoy, C.P. (1971) Plasmatic Resistance and Rate of Respiration and Photosynthesis of *Zostera-marina* at Different Salinities and Temperatures. *Marine Biology* 8, 48-56.
- [11] Fernandez-Torquemada, Y., and Sanchez-Lizaso, J.L. (2011) Responses of two Mediterranean seagrasses to experimental changes in salinity. *Hydrobiologia* 669, 21-33.
- [17] Ralph, P.J. (1998) Photosynthetic responses of *Halophila ovalis* (R. Br.) Hook. f. to osmotic stress. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 227, 203-220.
- [18] Torquemada, Y.F., Durako, M.J., and Lizaso, J.L.S. (2005) Effects of salinity and possible interactions with temperature and pH on growth and photosynthesis of *Halophila johnsonii* Eiseman. *Marine Biology* 148, 251-260.
- [19] Dawes, C.J., Lobban, C.S., and Tomasko, D.A. (1989) A Comparison of the Physiological Ecology of the Seagrasses *Halophila-decipiens* ostenfeld and *Halophila-johnsonii* eiseman from Florida. *Aquatic Botany* 33, 149-154.
- [20] McMillan, C., and Moseley, F.N. (1967) Salinity Tolerances of 5 Marine Spermatophytes of Redfish Bay Texas. *Ecology* 48, 503-&.
- [21] Berns, D.M. (2003) Physiological responses of *Thalassia testudinum* and *Ruppia maritima* to experimental salinity levels. [Tampa, Fla.] : University of South Florida.
- [22] Koch, M.S., Schopmeyer, S.A., Kyhn-Hansen, C., Madden, C.J., and Peters, J.S. (2007) Tropical seagrass species tolerance to hypersalinity stress. *Aquatic Botany* 86, 14-24.

III. Descripción de los trabajos y resumen de resultados

En la tabla de las páginas siguientes se recogen los principales resultados obtenidos en estos trabajos.

Tabla 3: Resumen de resultados del efecto del incremento de salinidad en otras fanerógamas marinas

Referencia	Especie	Salinidad referencia (psu)	Salinidad estudiada (psu)	Variable estudiada	Respuesta (Rs)	Zona de estudio	Exposición (días)	Observaciones
Biebl et al, 1971 [16]	<i>Zostera marina</i>	31	56	Tasa metabólica neta (fotosíntesis - respiración)	Límite superior de tolerancia de la planta (tasa metabólica positiva)	Alaska	3	
			62	Tasa metabólica neta (fotosíntesis - respiración)	Reducción drástica de la tasa fotosintética: (tasa metabólica negativa)			
			93	Mortalidad	Sin efecto en la mortalidad de las hojas en 24 h			
Torquemada et al, 2011 [11]	<i>Zostera noltii</i>	37,5	2-41		Máximo crecimiento de los brotes, mínima mortalidad	Alicante, España	10	Se menciona que el experimento se llevó a cabo durante un corto periodo de tiempo (poco periodo de exposición: 10 días sin aclimatación y con organismos adultos). Se examinaron salinidades de 2-72 psu. Porcentajes estimados a partir de las gráficas.
			45	Tasa de crecimiento (% del control)	70 en tratamiento de salinidad			
			50	Tasa de mortalidad (% del total)	0 en el control			
				Tasa de crecimiento (% del control)	20 en tratamiento de salinidad			
			57	Tasa de mortalidad (% del total)	40 en tratamiento de salinidad			
				Tasa de crecimiento (% del control)	0 en el control			
Ralph et al, 1998 [17]	<i>Halophila ovalis</i>	35	52		50 en tratamiento de salinidad	Bahía de Taylor, Puerto de Sídney (Australia)	4	Esta planta no se distribuye por la costa española (mares cálidos). Sin embargo se describe en el artículo como las fanerógamas más eurihalina. Exposición directa a los tratamientos de salinidad
			70	Actividad fotosintética	0 en tratamiento de salinidad			
			88		100 en tratamiento de salinidad			
Torquemada et al, 2005 [18]	<i>Halophila johnsonii</i>	30	40		Sin estrés fotosintético significativo	Cayo bizcaino, Florida	15	Aunque está planta no se distribuye en el litoral español, en este artículo se hace referencia a un estudio de Dawes 1989 con el que se concluye que esta especie es mas tolerante a la salinidad que <i>Halophila decipiens</i> . Datos estimados a partir de gráficos. Exposición directa a los tratamientos de salinidad aunque se permitió aclimatación de la planta a dichas salinidades durante 3 días antes de medir los parámetros. Analiza también otros descriptores fotosintéticos
			50	Tasa de crecimiento (Hoja planta ⁻¹ día ⁻¹)	0.3 en el control			
				Tasa de mortalidad (%)	0.2 en el tratamiento de salinidad			
			60		35 en el control			
					50 en el tratamiento de salinidad			
			50	Tasa de crecimiento (Hoja planta ⁻¹ día ⁻¹)	0.3 en el control			
				Tasa de mortalidad (%)	0.15 en el tratamiento de salinidad			
			60		35 en el control			
					65 en el tratamiento de salinidad			
			60	Tasa de crecimiento (Hoja planta ⁻¹ día ⁻¹)	0.3 en el control			
Tasa de mortalidad (%)	0 en el tratamiento de salinidad							
5-35		35 en el control						
		100 en el tratamiento de salinidad						
Dawes et al, 1989 [19]	<i>Halophila decipiens</i>	32	5-35	Actividad fotosintética	Eficacia fotosintética positiva a 35 psu	Cayo Ancloote, Florida	3	Sólo se dispone del "abstract" de este artículo. Los datos proporcionados son una referencia en [18]
					Tasa respiratoria optima entre 25-35 psu			
McMillan et al, 1967 [20]	<i>Ruppia maritima</i>	28	70	Crecimiento	Límite de tolerancia de la planta	Bahía de Redfish, Texas		No se dispone del artículo. Es una referencia encontrada en Koch 2007 []. Incremento gradual de la salinidad en los tratamientos (0,75 psu por día)
			74		Supervivencia de la planta			

Referencia	Especie	Salinidad referencia (psu)	Salinidad estudiada (psu)	Variable estudiada	Respuesta (Rs)	Zona de estudio	Exposición (días)	Observaciones								
Berns et al, 2003 [21]	<i>Ruppia maritima</i>	20	40	Tejido necrosado (%hoja color marrón)	0 en el control 0 en el tratamiento de salinidad	Bahía de Madeira, Florida.	28	Planta acuática de aguas salobres capaz de tolerar amplios rangos de salinidad (incluso aguas dulces, lo que hace dudosa su clasificación como fanerógama). Exposición gradual a los tratamientos de salinidad (incrementos de 10 psu a la semana). Salinidades testadas: 0-60 psu (sólo se analizan tratamientos hipersalinos). Cálculo de valores de crecimiento a partir de tabla del anejo. Analiza otros descriptores fisiológicos como tasa de fotosíntesis y de respiración u osmolaridad del tejido.								
				Tasa de crecimiento (nuevos nódulos día ⁻¹)	0.72 en el control 0.08 en el tratamiento de salinidad											
				Tasa de crecimiento (nuevas hojas día ⁻¹)	1.2 en el control 0.18 en el tratamiento de salinidad											
				Tasa de crecimiento (mgDW día ⁻¹)	2.25 en el control 0.25 en el tratamiento de salinidad											
				Tasa de crecimiento (cm día ⁻¹)	4.5 en el control 0.5 en el tratamiento de salinidad											
				Tejido necrosado (%hoja color marrón)	0 en el control 60 en el tratamiento de salinidad											
				Tasa de crecimiento (nuevos nódulos día ⁻¹)	0.72 en el control											
				Tasa de crecimiento (nuevas hojas día ⁻¹)	1.2 en el control											
				Tasa de crecimiento (mgDW día ⁻¹)	2.25 en el control											
				Tasa de crecimiento (cm día ⁻¹)	4.5 en el control											
				Tasa de mortalidad (%)	0 en el control prácticamente la totalidad en tratamiento											
				Koch et al, 2007 [22]	<i>Ruppia maritima</i>				35	55	Tasa de producción de brotes nuevos (%)	80 en el control 50 en el tratamiento de salinidad	Golfo de Méjico, Florida	30	Estudio de tolerancia de fanerógamas tropicales a salinidades elevadas. Incrementos de salinidad de forma gradual (1 psu al día). Estudia otros descriptores fisiológicos: Eficacia fotosintética y osmolaridad del tejido.	
											70	Tasa de mortalidad (%)				NOEC (no se observa ningún efecto)
												Supervivencia de la planta				Se observan brotes floreciendo



CEDEX

IV. Análisis de resultados y conclusiones

A la vista de estos resultados de la tabla de la página anterior se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1.- En primer lugar mencionar la heterogeneidad de los resultados en función de la especie demostrando que la tolerancia al incremento de salinidad en el medio es especie-específico. De forma general se observa una mayor tolerancia de cualquiera de las especies analizadas en la tabla anterior que la mostrada por *Posidonia oceanica* o *Cymodocea nodosa*

2.- Considerando la variabilidad de la salinidad de referencia o control a la que están aclimatados los organismos en los distintos estudios así como en las salinidades de cada tratamiento, para poder comparar el conjunto de resultados resumidos en la tabla del apartado anterior, en la siguiente grafica se representan las salinidades consideradas por los autores como límite superior de tolerancia de las distintas especies, expresados como incremento de salinidad respecto a la salinidad del medio o salinidad control.

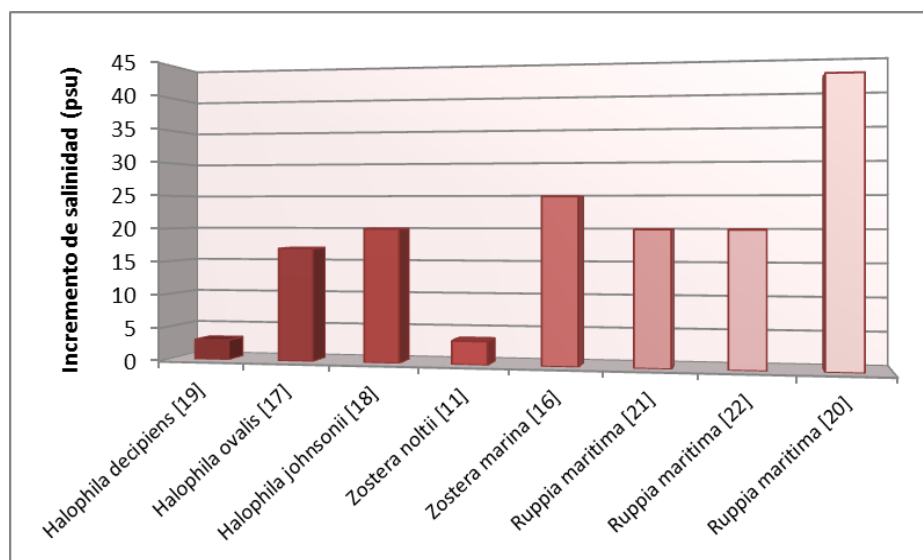


Figura 6: Límite superior de tolerancia al incremento de salinidad respecto a la salinidad control de distintas especies de fanerógamas marinas considerado por los autores en los artículos analizados.

3.- En este gráfico puede observarse e primer lugar en cuanto a las especies del género *Halophila*, como según este gráfico parecería que *H.ovalis* tolera incrementos de salinidad menores que *H.johnsonii* (incluso que especies de otros géneros como *Zostera marina*) mientras que en el artículo en el que se analiza el umbral de tolerancia para esta primera especie se menciona que es la fanerógama marina más tolerante al incremento de salinidad. Este hecho podría deberse a que los incrementos de salinidad en los distintos tratamientos son muy amplios dificultando una estimación precisa de la máxima salinidad tolerada por la planta (en este caso el incremento de salinidad al que se observa un mínimo efecto sobre la planta es de 35 psu).

En cualquier caso, el incremento de salinidad medio tolerado por estas especies de fanerógamas ronda los 20 psu con algunas excepciones:

- Por un lado cabe destacar que el incremento tolerado por *Halophila decipiens*, presente en la costa Canaria, es de 3 psu. No obstante recordamos que no se dispone del



artículo entero donde se analiza el estudio y que estos datos han sido obtenidos de una referencia en otro artículo y por tanto este valor debe tomarse con mucha cautela.

- Por otro lado, *Zostera noltii* presenta también una tolerancia al incremento de salinidad moderado (3,5 psu respecto a la salinidad natural del medio). Esta planta, típica de aguas templadas tanto mediterráneas como de la costa Atlántica y Canarias, que aparece en lugares protegidos y de escasa profundidad, aunque sin alcanzar grandes extensiones, podría verse afectada por los vertidos de salmuera al medio marino. Desafortunadamente, no se han encontrado otras publicaciones que permitan contrastar estos resultados.

Por tanto, a la vista de estos resultados, podemos concluir que otras especies de fanerógamas distintas a la *C.nodosa* o *P.oceanica* son capaces de tolerar elevados incrementos de salinidad y por tanto son poco vulnerables a la afección de un vertido de salmuera. En cuanto a *Z.noltii* si en las inmediaciones de un vertido se observara la presencia de esta especie y no de otras como *C.nodosa* o *P.oceanica* (en cuyo caso ya se establecerían criterios de calidad suficientes para proteger también estas praderas), convendría aplicar un criterio de calidad suficiente para asegurar la no afección de esta planta.

5.2 Macroinvertebrados bentónicos

Este grupo engloba al conjunto de invertebrados que viven en relación con el fondo, ya sea para fijarse en él, excavarlo y vivir dentro de él, marchar o desplazarse sobre su superficie, o para nadar en sus vecindades, sin alejarse de él.

Actualmente y a pesar de la importancia ecológica y comercial de los invertebrados bentónicos, dentro del procedimiento ambiental para la autorización de un vertido de salmuera al medio marino, no se contempla el efecto que el incremento de salinidad pudiera producir sobre estos organismos.

No obstante se han encontrado numerosos estudios relacionados con este tema. Hay que tener en cuenta, que además de la riqueza ecológica, muchas de estos organismos se comercializan para el consumo humano, lo que ha su vez ha favorecido el aumento de estudios destinados a conocer los límites de tolerancia al incremento de salinidad para el cultivo de distintas especies. De hecho, la única normativa estatal que contempla el exceso de salinidad con respecto a la del medio receptor como un parámetro a controlar y limitar es el Real Decreto 345/1993, de 5 de marzo, por el que se establecen las normas de calidad de las aguas y de la producción de moluscos y otros invertebrados marinos vivos. Según el Anejo IV de este Real Decreto, *la variación de salinidad provocada por un vertido, en las aguas para cría de moluscos afectadas por dicho vertido no deberá ser superior en más de un 10 por 100 la salinidad medida en las aguas no afectadas.*

Teniendo en cuenta la gran diversidad de especies que engloban este grupo de invertebrados bentónicos, se ha subdividido este apartado en función de los distintos grupos taxonómicos representados (Moluscos, Artrópodos Crustáceos y Equinodermos).

5.2.1 Moluscos

I. Antecedentes

Los moluscos forman uno de los grandes filos del reino animal. Son invertebrados de cuerpo blando, desnudos o protegidos por una concha. Los moluscos son los invertebrados más numerosos después de los artrópodos. Los tres grupos más importantes en los que se clasifican este filo son: Gasterópodos, Bivalvos y Cefalópodos.



CEDEX

Casi todos los moluscos son acuáticos: marinos la mayoría, pero algunos viven en agua dulce. Los pocos que habitan el medio terrestre, necesitan un ambiente muy húmedo.

Dentro del grupo de los gasterópodos, algunos están adaptados al medio terrestre y dulceacuícola, aunque en su mayoría son marinos. Estos últimos se pueden encontrar desde la zona intermareal (la mayoría) a grandes profundidades e incluso algunos son pelágicos. Muchos de ellos son sésiles; viven fijos al sustrato (lapas) o con poca capacidad de movimiento (caracoles).

Los bivalvos, caracterizados por un caparazón duro con dos valvas laterales, son todos acuícolas; algunas especies son de agua dulce pero en su mayoría son marinos. Aparecen enterrados en fondos blandos (infauna), como habitantes fijos de superficies y estructuras rígidas o libres sobre los fondos (epifauna).

Por último y a diferencia de los anteriores, el grupo de los cefalópodos posee cierta capacidad de movimiento y de flotación. Todas las especies que componen este grupo son marinas. Son principalmente nadadoras, sin embargo suelen aparecer bastante ligados al sustrato donde se esconden durante el día y consiguen el alimento durante la noche. Los organismos adultos de este grupo podrían parecer a priori menos susceptibles a la afección por un vertido de salmuera.

En cuanto al valor económico de este grupo, cabe destacar que a lo largo de la historia los moluscos han sido explotados en todo el mundo para la alimentación, la ornamentación y la joyería e incluso con fines medicinales. Tal es así que durante los últimos años, se han desarrollado técnicas de cultivo de diversas especies (sobre todo bivalvos y algunos gasterópodos) mientras que otras (como el cultivo de la sepia o el pulpo) están actualmente en estudio. El desarrollo de estas técnicas implica la necesidad de conocer la tolerancia de las especies a distintos factores ambientales, lo que ha contribuido a la publicación de numerosos artículos sobre el efecto del incremento de salinidad en los moluscos.

II. Bibliografía revisada

En este apartado se enumera la bibliografía ordenada por año de publicación. No obstante, en la tabla de resumen de resultados del apartado siguiente se ha realizado una primera ordenación por la clase de molusco estudiada.

- [23] Motwani, M.P. (1956) Experimental and ecological studies on the adaptation of *Mytilus edulis* L. to salinity fluctuations. Proc. natl Inst. Sci. India, pp. 227-246.
- [24] Alagarwami, K., and Victor, A.C.C. (1976) Salinity tolerance and rate of filtration of the pearl oyster *Pinctada fucata*. MBI.
- [25] Nell, J.A., and Gibbs, P.J. (1986) Salinity tolerance and absorption of l-methionine by some Australian bivalve mollusks. Australian Journal of Marine and Freshwater Research 37, 721-727.
- [26] Iso, S., Suizu, S., and Maejima, A. (1994) The lethal effect of hypertonic solutions and avoidance of marine organisms in relation to discharged brine from a desalination plant. Desalination 97, 389-399.
- [27] Sen, H. (2005) Incubation of European Squid (*Loligo vulgaris* Lamarck, 1798) eggs at different salinities. Aquaculture Research 36, 876-881.



- [28] Taylor, J.J., Southgate, P.C., and Rose, R.A. (2004) Effects of salinity on growth and survival of silver-lip pearl oyster, *Pinctada maxima*, Spat. Journal of Shellfish Research 23.
- [29] Le Page, S.D. (2005) Salinity tolerance investigations: a supplemental report for the Carlsbad, C.A.: Desalination project, prepared por Poseidom Resources by M-REP Consulting, Carlsbad, C.A.
- [30] Billiton, BH. (2009) Olympic Dam Expansion Draft Environmental Impact Statement.
- [31] Services, G. (2006) Effects of RO brine on the development of giant cuttlefish (*Sepia apama*) embryos. Statement, O.D.E.D.E.I. ed.
- [32] Ltd, H.P. (2006) Ecotoxicity of effluent from the proposed Olympic Dam desalination plant. Statement, O.D.E.D.E.I. ed.
- [33] Services, G. (2008) The provision of reverse osmosis brine toxicity testing. Statement, O.D.E.D.E.I. ed.
- [34] Voutchkov, N. (2009) Salinity tolerance evaluation methodology for desalination plant discharge. Desalination and Water Treatment 1, 68-74.
- [35] Quintino, V., Rodrigues, A.M., Freitas, R., and Re, A. (2008) Experimental biological effects assessment associated with on-shore brine discharge from the creation of gas storage caverns. Estuarine Coastal and Shelf Science 79, 525-532.
- [36] Dupavillon, J.L., and Gillanders, B.M. (2009) Impacts of seawater desalination on the giant Australian cuttlefish *Sepia apama* in the upper Spencer Gulf, South Australia. Marine Environmental Research 67, 207-218.
- [37] Yuan, W., Walters, L.J., Schneider, K.R., and Hoffman, E.A. (2010) Exploring the survival threshold: a study of salinity tolerance of the nonnative mussel *Mytella charruana*. Journal of Shellfish Research 29, 415-422.
- [38] Deschaseaux, E., Taylor, A., and Maher, W. (2011) Measure of stress response induced by temperature and salinity changes on hatched larvae of three marine gastropod species. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 397, 121-128.
- [39] Consultants, A. (1992) Effects of hyper-saline water on survival of *Olivella pycna* and *Dendraster excentricus* to EIP Associates, Pasadena, California

III. Descripción de los trabajos y resumen de resultados

En la tabla de las páginas siguientes se recogen los principales resultados obtenidos en estos trabajos.

Destacamos que ha diferencia de lo que sucede con las fanerógamas marinas, cuyos estudios estaban enfocados en su mayoría a analizar el efecto de la salmuera, en este apartado se han encontrado estudios de muy diverso índole; desde aquellos destinados a analizar los rangos óptimos de salinidad para el desarrollo de una especie de cultivo hasta otros cuya finalidad es analizar los límites de distribución natural de una especie en concreto (además de estudios del efecto de la salmuera antes mencionados).

Tabla 4: Resumen de resultados del efecto del incremento de salinidad en Moluscos

Referencia	Grupo taxonómico/ Nombre común	Especie	Salinidad referencial (psu)	Salinidad estudiada (psu)			Variable estudiada	Respuesta (Rs)			Zona de estudio	Distribución de la especie	Interés comercial	Exposición (días)	Observaciones
				42	46	50		210 en el control	200 en el tratamiento de salinidad	210 en el control					
Motwani et al, 1956 [23]	Bivalvo Mejillón azul (mejillón comercial)	<i>Mytilus edulis</i>	34.8	42	Supervivencia en organismos adultos con aireación (días)			210 en el control	Aguas templadas de hemisferios Norte y Sur. Presente en la costa atlántica española y mediterránea			Consumo humano. Especie cultivada	215	Especie que tolera rangos naturales de salinidad (en la zona donde se realizó el estudio de 3.52 psu). Datos obtenidos del texto y de las graficas (para análisis de la supervivencia)	
				46	Formación del visu	200 en el tratamiento de salinidad	Limite superior de salinidad a la que se desarrolla el visu con normalidad								
				50	Apertura de valvas (minutos transcurridos hasta la apertura)	210 en el control	Limite superior a la que las valvas se abren con cambio brusco en S								
Alagarswami et al, 1976 [24]	Bivalvo Madreperla	<i>Pinctada fucata</i> (<i>Pinctada imbricata fucata</i>)	34.05	45.9	Tasa de mortalidad adultos (% del total)			0 en el control	Golfo de Mannar, India	Índico y Pacífico occidental	Usos comerciales de la perla. Especie cultivada	2	Exposición directa a los tratamientos de salinidad. Analiza otros descriptores como el tiempo de apertura de valvas y actividad de las mismas.		
				47.8	Tasa de filtración de agua (% de eliminación de colorante en 4 horas)	0 en el control	67 en el tratamiento de salinidad								
				50.8		0 en el control	76.1 en el tratamiento de salinidad								
Nell et al, 1986 [25]	Bivalvo Vieira	<i>Pecten fumatus</i>	35	50.07	Tasa de supervivencia adultos (% del total)			0 en el control	Costa australiana. (otras spc del género en España)	Costa australiana.	2	Sin aclimatación previa y exposición directa a los tratamientos de salinidad. Analiza otros parámetros fisiológicos como la absorción de L-metionina y la osmolaridad del manto. Concluye que no son buenos osmoreguladores. Es un estudio de Australia pero alguna especie como el mejillón o la vieira también se encuentran en la península ibérica con una gran importancia económica			
				52.08		0 en el control	94 en el tratamiento de salinidad								
				55.09		0 en el control	100 en el tratamiento de salinidad								
Nell et al, 1986 [25]	Bivalvo Almeja Pipi de Australia	<i>Plebidonax deltoides</i>	35	44	Tasa de supervivencia adultos (% del total)			0 en el control	Sidney, Australia (salinidad media del medio 35 psu)	Costa australiana.	7	Consumo humano. Especies en su mayoría cultivadas			
				50		0 en el control	94 en el tratamiento de salinidad								
				57		0 en el control	100 en el tratamiento de salinidad								
Nell et al, 1986 [25]	Bivalvo Ostra endémica de Australia	<i>Ostrea angasi</i>	35	40 g/l	Tasa de supervivencia adultos (% del total)			0 en el control	Costa australiana.	Costa australiana.	8	Consumo humano. Especies en su mayoría cultivadas			
				45 g/l		0 en el control	100 en el tratamiento de salinidad								
				50 g/l		0 en el control	100 en el tratamiento de salinidad								
Nell et al, 1986 [25]	Bivalvo Mejillón azul	<i>Mytilus edulis</i>	35	40 g/l	Tasa de supervivencia adultos (% del total)			0 en el control	Aguas templadas de. Presente en la costa atlántica y mediterránea	Aguas templadas de. Presente en la costa atlántica y mediterránea	10	Sin aclimatación previa y exposición directa a los tratamientos de salinidad. Analiza otros parámetros fisiológicos como la absorción de L-metionina y la osmolaridad del manto. Concluye que no son buenos osmoreguladores. Es un estudio de Australia pero alguna especie como el mejillón o la vieira también se encuentran en la península ibérica con una gran importancia económica			
				45 g/l		0 en el control	100 en el tratamiento de salinidad								
				50 g/l		0 en el control	100 en el tratamiento de salinidad								
Nell et al, 1986 [25]	Bivalvo Piangua (estuarios)	<i>Anadara trapezia</i>	35	40 g/l	Tasa de supervivencia adultos (% del total)			0 en el control	Estuarios de Australia	Estuarios de Australia	11	Sin aclimatación previa y exposición directa a los tratamientos de salinidad. Analiza otros parámetros fisiológicos como la absorción de L-metionina y la osmolaridad del manto. Concluye que no son buenos osmoreguladores. Es un estudio de Australia pero alguna especie como el mejillón o la vieira también se encuentran en la península ibérica con una gran importancia económica			
				45 g/l		0 en el control	100 en el tratamiento de salinidad								
				50 g/l		0 en el control	100 en el tratamiento de salinidad								

Referencia	Grupo taxonómico/ Nombre común	Especie	Salinidad referencia (psu)	Salinidad estudiada (psu)	Variable estudiada	Respuesta (Rs)	Zona de estudio	Distribución de la especie	Interés comercial	Exposición (días)	Observaciones
Iso et al, 1994 [26]	Bivalvo Almeja roja o de Japón	<i>Tapes philippinarum</i> (<i>Venerupis /Ruditapes philippinaru</i>)	33	50	Tasa de mortalidad adultos (% del total)	Desarrollo normal de los organismos adultos	Futtsu, Japón	Indo-Pacífico. Una referencia en mediterráneo (genero común en península)	Consumo humano. Especie cultivada	3	Almeja japonesa introducida en el mar mediterráneo. Exposición directa a los tratamientos de salinidad tras aclimatación de 24 h a 33 psu
				60							
				70							
Taylor et al, 2004 [28]	Bivalvo Ostra australiana o madreperla	<i>Pinctada maxia</i>	34	40	Supervivencia de juveniles (% del total)	64 en el control	Australia	Sur de Australia y Nueva Zelanda	Usos comerciales de la perla. Especie cultivada	20	Exposición directa al incremento de salinidad. No se disponen de los gráficos que comparan el crecimiento de la concha en juveniles pero en texto indica que son significativamente menores en los tratamientos de salinidad que en el control.
				45							
				40.50							
Hydrobiology Pty Ltd, 2006 [32]	Bivalvo Ostra de Sydney	<i>Saccostrea commercialis</i>	36.3	38.20	Desarrollo larvario (% de larvas normales del total de huevos eclosionados)	Reducción estadísticamente significativa del crecimiento	Australia	Australia	Interés comercial. Especie cultivada	2	Apéndice O.10.2 Del Estudio de Impacto ambiental del proyecto Olmpyc Dam Extension [30].
				40.50							
				44.40							
				41.26							
				44.40							
				40.50							
				41.16							
Geotechnical services, 2008 [33]	Bivalvo Ostra del pacífico	<i>Crassostrea gigas</i>	39.9	40.53	Indices de toxicidad (desarrollo larvario)	NOEC (NO se observa influencia sobre el desarrollo larvario)	Australia	Por todo el mundo. Presente también en la costa atlántica española y Mediterráneo	Consumo humano y otros usos (Interés para bioensayos)	2	Estudio realizado para determinar el impacto de dicha desaladora.
				41.16							
				42.38							
				41.19							
				41.56							
				37.4							
Quintino et al, 2008 [35]	Bivalvo Mejillón rubio o mediterráneo	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	36	41.7	Desarrollo larvario normal (% del total)	Desarrollo normal de los organismos adultos	Costa central de Portugal (salinidad media de 36 psu)	Aguas templadas. Cosmopolita. Muy abundante en el Mediterráneo.	Consumo humano. Especie cultivada. Especie del mediterráneo invasora en el Atlántico	3	Apéndice O.10.2 Del Estudio de Impacto ambiental del proyecto Olmpyc Dam Extension [30].
				47.2							
				38.9							
				43.45							
				41.16							

Referencia	Grupo taxonómico/ Nombre común	Especie	Salinidad referencia (psu)	Salinidad estudiada (psu)	Variable estudiada	Respuesta (Rs)	Zona de estudio	Distribución de la especie	Interés comercial	Exposición (días)	Observaciones
Yuan et al, 2010 [37]	Bivalvo Mejillón de alagoas	<i>Mytella charruana</i>	13	31	Supervivencia de mejillones de tamaño grande (% del total). Test de aclimatación	40 en el control (salinidad de 14 psu similar a aclimatación)	Costa norte de Florida	Atlántico occidental (sin presencia en la panínsula)	Sin usos comerciales. Especie invasora	28+ 15 de aclimatación a la salinidad	Especie introducida en suroeste de EE.UU. Organismos aclimatados a la salinidad de referencia durante 7 días antes del comienzo de los experimentos. Los experimentos que llaman de aclimatación hacen referencia a cambios graduales de S durante 43 días (3psu/día), los de stock permanente a cambios bruscos durante 23 días y los de 6 horas exposición al tratamiento de salinidad durante 6 horas y vuelta al tanque control.
				40		30 en el tratamiento de salinidad					
				40	Supervivencia de mejillones grandes (% del total). Test de shock permanente	96 en el control					
				45		58 en el tratamiento de salinidad					
				40	Supervivencia de mejillones de tamaño grande (% del total). Test de 6h-shock	96 en el control					
				45		0 en el tratamiento de salinidad					
Sen et al, 2005 [27]	Cefalópodo Calamar	<i>Loligo vulgaris</i>	37 g/l	38 g/l	Total de huevos eclosionados (% del total) juveniles sanos (% del total de huevos)	98.6 en el control	Mar Egeo	Cosmopolita. Mar Mediterráneo y costa este del Atlántico desde el Mar del Norte al Golfo de Guinea. Común en la península	Consumo humano. Cultivo de la especie en estudio	23	Estudio para determinar la salinidad efectiva para el cultivo del pulpo. Sin aclimatación previa y exposición directa al tratamiento de salinidad.
				40 g/l		100 en el tratamiento de salinidad					
				40 g/l	Total de huevos eclosionados (% del total) Juveniles sanos (% del total de huevos)	94 en el control					
				42 g/l		96.7 en el tratamiento de salinidad					
				46.14	Desarrollo embrionario (% del total)	98.6 en el control					
				47.17		3 en el tratamiento de salinidad					
				49.22	Índices de toxicidad (desarrollo embrionario)	94 en el control					
				<45.60		94 en el control					
				45.60	Índices de toxicidad (desarrollo embrionario)	96.7 en el tratamiento de salinidad					
				45.88		100 en el control					
				47.02	Índices de toxicidad (tiempo hasta eclosión)	100 en el control					
				46.13		0 en el tratamiento de salinidad					
47.16	Índices de toxicidad (tiempo hasta eclosión)	NOEC (Sin efecto sobre el desarrollo embrionario)									
47.25		LOEC (min. concentración con efecto sobre el desarrollo)									
47.58	Índices de toxicidad (tiempo hasta eclosión)	EC10 (Concentración con 10% de reducción del desarrollo)									
		EC50 (Concentración con 50% de reducción del desarrollo)									
Geotechnical services, 2006 [31]	Cefalópodo Sepia gigante	<i>Sepia apama</i>	45.11	46.14	Desarrollo embrionario (% del total)	100 en el control	Australia	Endémica de la costa sur de Australia	Especie de interés turístico (buceo). Consumo a pequeña escala	Variable (aprox. 120)	Estudio muy detallado donde se analizan otros parámetros como tamaño y peso de los organismos en diferentes estadios de su desarrollo (se han seleccionado los más importantes). A partir de estos datos se deduce dilución mínima para protección del a especie; 2% para nivel de protección del 95% (factor de dilución 53) lo que equivale a una salinidad de 45.75 psu (aproximadamente 0.5 psu por encima de la salinidad del medio)
				47.17		84 en el tratamiento de salinidad					
				49.22	Índices de toxicidad (desarrollo embrionario)	100 en el control					
				<45.60		100 en el control					
				45.60	Índices de toxicidad (desarrollo embrionario)	NOEC (Sin efecto sobre el desarrollo embrionario)					
				45.88		LOEC (min. concentración con efecto sobre el desarrollo)					
47.02	Índices de toxicidad (tiempo hasta eclosión)	EC10 (Concentración con 10% de reducción del desarrollo)									
46.13		EC50 (Concentración con 50% de reducción del desarrollo)									
47.16	Índices de toxicidad (tiempo hasta eclosión)	NOEC (Sin efecto sobre el tiempo hasta eclosión)									
47.25		LOEC (min. Concentración aumento del tiempo)									
47.58	Índices de toxicidad (tiempo hasta eclosión)	EC10 (concentración con aumento del 10% del tiempo)									
		EC50 (concentración con aumento del 50% del tiempo)									

Referencia	Grupo taxonómico/ Nombre común	Especie	Salinidad referencia (psu)	Salinidad estudiada (psu)	Variable estudiada	Respuesta (Rs)	Zona de estudio	Distribución de la especie	Interés comercial	Exposición (días)	Observaciones
Geotechnical services, 2006 [31]	Cefalópodo Sepia gigante	<i>Sepia apama</i>	45.11	45.60	Supervivencia de juveniles post-eclosión (% del total)	80 en el control	Australia	Endémica de la costa sur de Australia	Especie de interés turístico (buceo). Consumo a pequeña escala	Variable (aprox. 120)	Estudio muy detallado donde se analizan otros parámetros como tamaño y peso de los organismos en diferentes estadios de su desarrollo (se han seleccionado los más importantes). A partir de estos datos se deduce dilución mínima para protección del a especie; 2% para nivel de protección del 95% (factor de dilución 53) lo que equivale a una salinidad de 45.75 (aproximadamente 0.5 psu por encima de la salinidad del medio)
				46.14		94 en el tratamiento de salinidad					
				47.17		80 en el control					
				49.22		40 en el tratamiento de salinidad					
				47.16		80 en el control					
				49.23		33 en el tratamiento de salinidad					
				45.71		80 en el control					
				46.44		0 en el tratamiento de salinidad					
						NOEC (Sin efecto en la supervivencia de larvas)					
						LOEC (min. Concentración con efecto en la supervivencia)					
	EC10 (Concentración con 10% de reducción supervivencia)										
	EC50 (Concentración con 50% de reducción supervivencia)										
Geotechnical services, 2008 [33]	Cefalópodo Sepia gigante	<i>Sepia apama</i>	39.9	40.22	Supervivencia de larvas post-eclosión (% del total de eclosiones)	26 en el control	Australia	Endémica de la costa sur de Australia	Especie de interés turístico (buceo). Consumo a pequeña escala	150 (5 meses)	Estudio de Olmptyc Dam Extension. Sepia gigante. Se realizan varios test en diferentes etapas del desarrollo embrionario y larvario; tamaño y peso de embriones y larvas; tiempo hasta eclosión etc., (se han seleccionado los más representativos)
				41.16		22 en el tratamiento de salinidad					
				42.38		26 en el control					
				44.89		28 en el tratamiento de salinidad					
				42.38		26 en el control					
				44.89		13 en el tratamiento de salinidad					
				42.38		26 en el control					
				44.89		0 en el tratamiento de salinidad					
				42.38		NOEC (Sin efecto en la supervivencia de larvas)					
				44.89		LOEC (min. Concentración con efecto en la supervivencia)					
43.32	EC10 (Concentración con 10% de reducción supervivencia)										
40.53	EC50 (Concentración con 50% de reducción supervivencia)										
				42.38	Índices de toxicidad (desarrollo embrionario)	95 en el control				120 (4 meses)	Estudio específico del efecto de un vertido de salmuera en Australia. Esta especie de sepia no se distribuye por la costa española. Aclimatación durante 5 días a las salinidad control y exposición gradual al os tratamientos de salinidad (2 psu/ día)
				44.89		96 en el tratamiento de salinidad					
				42.42		11 en el control					
				43.48		12 en el tratamiento de salinidad					
						0.55 en el control					
Dupavillon et al, 2009 [36]	Cefalópodo Sepia gigante	<i>Sepia apama</i>	39	40	Tasa de supervivencia (% de eclosiones)	0.6 en el tratamiento de salinidad	Golfo de Spencer, Australia	Endémica de la costa sur de Australia	Especie de interés turístico (buceo). Consumo a pequeña escala	100	
						Longitud del manto de juveniles tras eclosión (mm)					
					Peso del manto de juveniles tras eclosión (g)						

Referencia	Grupo taxonómico/ Nombre común	Especie	Salinidad referencia (psu)	Salinidad estudiada (psu)	Variable estudiada	Respuesta (Rs)	Zona de estudio	Distribución de la especie	Interés comercial	Exposición (días)	Observaciones		
Dupavillon et al, 2009 [36]	Cefalópodo Sepia gigante	Sepia apama	39	45	Tasa de supervivencia (% de eclosiones)	95 en el control	Golfo de Spencer, Australia	Endémica de la costa sur de Australia	Especie de interés turístico (buceo). Consumo a pequeña escala	100	Estudio específico del efecto de un vertido de salmuera en Australia. Esta especie de sepia no se distribuye por la costa española. Acclimatación durante 5 días a las salinidades control y exposición gradual a los tratamientos de salinidad (2 psu/ día)		
					Longitud del manto de juveniles tras eclosión (mm)	60 en el tratamiento de salinidad							
					Peso del manto de juveniles tras eclosión (g)	11 en el control 10 en el tratamiento de salinidad 0.55 en el control 0.4 en el tratamiento de salinidad							
ABA consultants, 1992 [39]	Gasterópodo Caracol oliva	Olivella pycna	33	50	Tasa de supervivencia (% de eclosiones)	95 en el control 0 en el tratamiento de salinidad	Monterey, California (EEUU)	Desconocido	Otros usos (uso de conchas en joyería)	Corto periodo de exposición	NO se ha encontrado este artículo. Estos datos se han obtenido de del apéndice O.8 de Olympyc Dam Extension Project [30]		
					Tasa de mortalidad	Sin efecto para adultos Letales para juveniles de 10-15 cm de diámetro							
Le Page et al 2005 [29] y Voutchkov et al, 2009 [34]	Gasterópodo Lapa Californiana	Haliotis fulgens	33.5	36	Tasa de ganancia de peso de adultos (%). Test biométrico	7.7 en el control	Carsbald, (California)	Endémico de la costa de California	Consumo humano. Especie cultivada	170 (5meses y medio)	Sin distribución en costas españolas de estas especies (si de los géneros). Exposición directa a los tratamientos de salinidad. Estudio específico para determinar la afección de una planta desaladora. Realizan un estudio previo de la zona de vertido concluyendo que la salinidad máxima encontrada es de 36 psu y por esos realizan el estudio con esa salinidad. Concluyen que no hay afección de la salmuera.		
						9.6 en el tratamiento de salinidad							
	Gasterópodo Abulón rojo	Haliotis rufescens	33.5	36	Tasa de ganancia de peso de adultos (%). Test biométrico	7.8 en el control		Distribución por costa del pacifico norte (de Alaska a Baja California)	Consumo humano y otros usos. Especie cultivada	Consumo humano y otros usos. Especie cultivada	19	Exposición directa a los tratamientos de salinidad. Estudio específico para determinar la afección de una planta desaladora. Realizan un estudio previo de la zona de vertido concluyendo que la salinidad máxima encontrada es de 36 psu y por esos realizan el estudio con esa salinidad. Concluyen que no hay afección de la salmuera.	
						9.2 en el tratamiento de salinidad							
	Gasterópodo Caracol porcelana	Megathura crenulata	33.5	36	Tasa de ganancia de peso de adultos (%). Test biométrico	4.7 en el control		Endémica de la costa de California	Consumo humano y otros usos. Especie cultivada	Consumo humano y otros usos. Especie cultivada	19	Exposición directa a los tratamientos de salinidad. Estudio específico para determinar la afección de una planta desaladora. Realizan un estudio previo de la zona de vertido concluyendo que la salinidad máxima encontrada es de 36 psu y por esos realizan el estudio con esa salinidad. Concluyen que no hay afección de la salmuera.	
						5.1 en el tratamiento de salinidad							
	Gasterópodo Caracol porcelana	Lithopoma undosum (Megastraea undosa)	33.5	36	Tasa de ganancia de peso de adultos (%). Test biométrico	2.4 en el control		De EEUU a Baja California	Consumo humano	Consumo humano	19	Exposición directa a los tratamientos de salinidad. Estudio específico para determinar la afección de una planta desaladora. Realizan un estudio previo de la zona de vertido concluyendo que la salinidad máxima encontrada es de 36 psu y por esos realizan el estudio con esa salinidad. Concluyen que no hay afección de la salmuera.	
						3.9 en el tratamiento de salinidad							
	Gasterópodo Caracol porcelana	Cypraea spadicea (Neobernaya spadicea)	33.5	36	Tasa de ganancia de peso de adultos (%). Test biométrico	1 en el control		Del sur de California a Baja California	Uso de conchas	Uso de conchas	19	Exposición directa a los tratamientos de salinidad. Estudio específico para determinar la afección de una planta desaladora. Realizan un estudio previo de la zona de vertido concluyendo que la salinidad máxima encontrada es de 36 psu y por esos realizan el estudio con esa salinidad. Concluyen que no hay afección de la salmuera.	
						0.6 en el tratamiento de salinidad							
Gasterópodo Abulón rojo	Haliotis rufescens	33.5	40	Tasa de mortalidad de adultos (% del total)	0 en el control (Chronic toxicity test WET (EPA) protocols)	Distribución por costa del pacifico norte (de Alaska a Baja California)	Consumo humano y otros usos. Especie cultivada	Consumo humano y otros usos. Especie cultivada	19	Exposición directa a los tratamientos de salinidad. Estudio específico para determinar la afección de una planta desaladora. Realizan un estudio previo de la zona de vertido concluyendo que la salinidad máxima encontrada es de 36 psu y por esos realizan el estudio con esa salinidad. Concluyen que no hay afección de la salmuera.			
					0 en el tratamiento de salinidad								
Deschaseaux et al 2011 [38]	Gasterópodos	Bembicum nanum	33.5	25 35 45	Desarrollo embrionario (días hasta eclosión)	1.5 en este tratamiento de salinidad	SouthWales, Australia	Sur de Australia y Nueva Zelanda	Usos comerciales desconocidos	7	Estudio combinado de temperatura y salinidad de varios parámetros fisiológicos del desarrollo embrionario. Sólo aportamos datos obtenidos a 22°C. No reporta salinidad de referencia pero la de 35 psu es según el autor la salinidad óptima de desarrollo de huevos y muy común en sur de Australia.		
						2 en este tratamiento de salinidad							
						3 en este tratamiento de salinidad							
	Gasterópodos	Siphonaria denticulata	33.5	25 35 45	Desarrollo embrionario (días hasta eclosión)	1.4 en este tratamiento de salinidad		SouthWales, Australia	Sur de Australia y Nueva Zelanda	Usos comerciales desconocidos	7	Estudio combinado de temperatura y salinidad de varios parámetros fisiológicos del desarrollo embrionario. Sólo aportamos datos obtenidos a 22°C. No reporta salinidad de referencia pero la de 35 psu es según el autor la salinidad óptima de desarrollo de huevos y muy común en sur de Australia.	
						1.2 en este tratamiento de salinidad							
						2.5 en este tratamiento de salinidad							
	Gasterópodos	Dolabrifera brazieri	33.5	25 35 45	Desarrollo embrionario (días hasta eclosión)	1.2 en este tratamiento de salinidad			SouthWales, Australia	Sur de Australia y Nueva Zelanda	Usos comerciales desconocidos	7	Estudio combinado de temperatura y salinidad de varios parámetros fisiológicos del desarrollo embrionario. Sólo aportamos datos obtenidos a 22°C. No reporta salinidad de referencia pero la de 35 psu es según el autor la salinidad óptima de desarrollo de huevos y muy común en sur de Australia.
						1.2 en este tratamiento de salinidad							
						1.8 en este tratamiento de salinidad							



IV. Análisis de resultados y conclusiones

A la vista de estos resultados de la tabla de la página anterior se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1.- En primer lugar mencionar la heterogeneidad de las variables estudiadas, la edad de los organismos, la manera de representar los resultados, las salinidades consideradas como control (recordamos que para este apartado se han tenido en cuenta especies distribuidas por todos los mares y océanos), el periodo y tipo de exposición y fundamentalmente de los resultados en si mismos.

De forma general los estudios con bivalvos y gasterópodos (en su mayoría sésiles o con movilidad reducida en fase adulta mientras que las larvas son móviles) se realizaron con organismos adultos mientras que para el estudio de cefalópodos (adultos con capacidad natatoria notable) la mayoría de los estudios se realizaron con embriones o con juveniles. En casi todos los estudios se analiza la tasa de mortalidad/supervivencia aunque también son comunes otras variables como la ganancia de peso (crecimiento) o el éxito del desarrollo embrionario/larvario. En algunos casos los propios autores proporcionan el índice estadístico de toxicidad para la variable estudiada.

El trabajo realizado por Yuan et al, 2010 [37] con *Mytella Churrana* analiza el efecto del incremento de salinidad en el medio en función del tipo de exposición del organismo a esta salinidad. En un primer experimento denominado en el artículo como “test de aclimatación” el incremento de salinidad se hace de manera gradual, con incrementos 3 psu/día durante los 15 días anteriores a la realización del ensayo. En los otros dos experimentos realizados la exposición al tratamiento de salinidad se hace de forma directa. La diferencia entre ellos es que en el denominado “test de shock permanente” una vez que los organismos son introducidos en el tratamiento de salinidad estos permanecen en él durante los 23 días que dura el experimento, mientras que en el último, denominado “test de 6h-shock” tras una exposición de 6 horas al tratamiento de salinidad (1% del tiempo total) los organismos son devueltos a la salinidad de aclimatación. Como puede verse en la tabla siguiente, los resultados varían según el tipo de exposición a la que son sometidos.

Tabla 5: Reducción de la tasa de supervivencia de *Mytella churrana* con el incremento de salinidad [37]

Tipo de test	Incremento de Salinidad (psu)	Reducción de la supervivencia (% del control)
Aclimatación	18	25.00
	27	25.00
Shock permanente	9	39.58
	14	100.00
Shock 6h	9	14.14
	14	9.09

Según los datos de la tabla, la mayor afección se produce con una exposición directa y permanente al incremento de salinidad, disminuyendo la sensibilidad con la aclimatación. El menor efecto observado es en el caso del test de shock durante 6 horas. La exposición permanente sin aclimatación puede asimilarse a las condiciones que se dan en el campo cercano en el periodo de funcionamiento de una planta desaladora. El shock de 6 horas de exposición se asemeja más a lo que sucede en el campo lejano de la zona de afección, donde debido a la variabilidad de las corrientes en el medio receptor, el vertido sólo alcanzaría al organismo durante periodos de tiempo intermitentes. El ensayo de aclimatación puede



representar lo que sucede en los puntos que durante el periodo inicial de la puesta en funcionamiento, en el que el caudal de vertido suele ser bastante menor que el nominal de proyecto, se encuentran en el tramo inicial del campo lejano y que al aumentar el caudal de vertido pasa a estar en el campo cercano.

Lamentablemente, el único trabajo en el que se han realizado ensayos en estas tres condiciones diferentes ha sido el de Yuan et al, 2010 [37]; todos los demás se han realizado en condiciones de exposición permanente. Teniendo en cuenta que las zonas a proteger se encuentran por lo general en el campo lejano, si se establecen como salinidades límite $S_{lim,5}$ ó $S_{lim,25}$ los resultados de los ensayos realizados en condiciones de exposición permanente, que representan salinidades que no pueden sobrepasarse el 100% del tiempo ($S_{lim,100}$), se están adoptando márgenes de seguridad adicionales.

2.- Considerando la variabilidad de la salinidad de referencia o control a la que están aclimatados los organismos en los distintos estudios, así como de las salinidades de cada tratamiento, para poder comparar el conjunto de resultados resumidos en la tabla del apartado anterior, se ha considerado como variable independiente, al igual que en los apartados anteriores, el incremento de salinidad de cada tratamiento respecto a la salinidad del medio o salinidad control. En los gráficos de la figuras siguientes se representan las repuestas obtenidas para la variable "tasa de supervivencia (total – tasa de mortalidad cuando es esta variable la que se facilita en el artículo) para cada especie en función del incremento de salinidad agrupada por intervalos.

3.-Bivalvos: Según los datos del gráfico de la Figura 7, en el caso de bivalvos, en su mayoría adultos, observamos como incrementos de salinidad de hasta 5 psu no disminuyen de manera relevante la tasa de supervivencia.

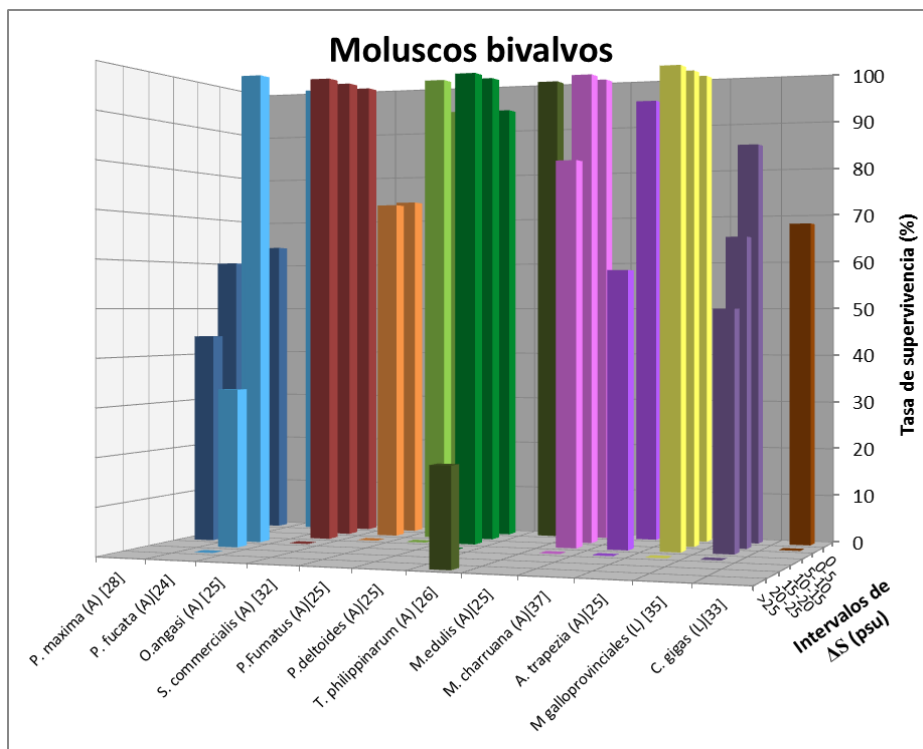


Figura 7: Tasa de supervivencia de distintas especies de moluscos bivalvos en función del incremento de salinidad del tratamiento respecto a la salinidad control agrupado por intervalos. ((L); larvas o embriones, (A); adultos).

No obstante, es necesario destacar algunas excepciones observadas principalmente en dos especies cuyos estudios se realizaron con organismos jóvenes (larvas o embriones):

- *Crassostrea gigas* u ostra del pacífico: es la especie de bivalvos más sensible al incremento de salinidad de las analizadas. Para incrementos de 1.5 psu la tasa de supervivencia de larvas se reduce un 10% pero con incrementos de 2.5 psu la reducción de la tasa de supervivencia alcanza el 100%. En cualquier caso recordamos que esta especie no se distribuye por el litoral de las aguas españolas
- *Mytilus galloprovincialis* o mejillón Rubio: Incrementos de salinidad de 1.5 psu respecto a la salinidad del medio produce una reducción en la tasa de supervivencia de larvas del 12% (24% para incrementos de salinidad de 3 psu). A diferencia de *C. gigas* esta especie no sólo es muy común en las costas españolas sino que se cultiva para el consumo humano principalmente en las aguas costeras desde Galicia hasta el norte del Mar Mediterráneo. Poblaciones naturales de estos mejillones están presentes en grandes áreas en las costas intermareales rocosas, acantilados y cantos rodados. Por lo tanto debería de prestarse especial atención a la presencia de esta especie en el caso de que el vertido de salmuera se realice desde la línea de costa (acantilados o escolleras).

4.-**Cefalópodos:** En el caso de estos organismos, los experimentos realizados todos con embriones o juveniles, muestran que con incrementos de salinidad entre 2 y 3 psu ya se aprecia una disminución importante en la tasa de supervivencia (Figura 8), incluso con incrementos menores en el caso de algunos estudios como el desarrollo embrionario y supervivencia de juveniles de *S.apama* [31] (reducción de la tasa de supervivencia en un 25% y 50% respectivamente con incrementos de salinidad de 1-2 psu).

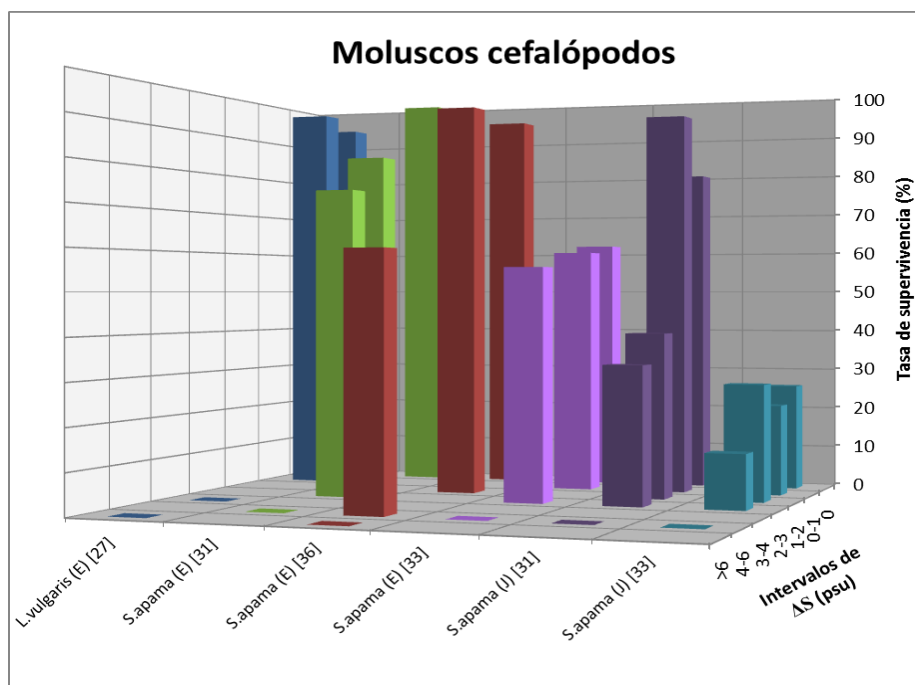


Figura 8: Tasa de supervivencia de distintas especies de moluscos cefalópodos en función del incremento de salinidad del tratamiento respecto a la salinidad control agrupado por intervalos. ((E); embriones, (J); juveniles post-eclosión de huevos).



CEDEX

Sin embargo, los propios autores de este estudio repitieron el experimento dos años más tarde con la misma especie ([33]), obteniendo que la tasa de supervivencia tanto de embriones como de organismos juveniles no se veía reducida hasta incrementos de salinidad de 2-3 psu (reducción de la tasa de supervivencia en embriones en un 10% y en un 50% en juveniles). Estos últimos datos son más similares a los obtenidos para el resto de estudios y especies analizados. No obstante, la escasa supervivencia observada en el control, plantea importantes incertidumbres sobre la validez de los mismos.

En cualquier caso, los valores de incremento de salinidad a los que se observa una respuesta en la reducción de la tasa de supervivencia de los cefalópodos en las primeras etapas de su desarrollo son parecidos (mismo orden de magnitud) a los observados para larvas de las dos especies de bivalvos destacadas en el punto anterior.

5.- Gasterópodos: No se han encontrado datos suficientes para su representación. No obstante, según el resumen de resultados de la tabla, incrementos de salinidad de 2.5 psu por encima de la salinidad control no produce efectos significativos en la tasa de ganancia de peso en ninguna de las especies analizadas. Tampoco se observa ningún efecto en la tasa de mortalidad con incrementos de salinidad más elevados (6.5 psu) en el abulón rojo *Haliotis rufescens* (Le Page et al 2005 [29] y Voutchkov et al, 2009 [34]).

6.- Las coincidencias observadas en la tolerancia al incremento de salinidad entre bivalvos y cefalópodos, ambos en las primeras etapas del desarrollo, podrían indicar a priori que un factor determinante en la sensibilidad al incremento de salinidad de los moluscos en general (independientemente de ser específica para cada especie), entre otros, es el estadio del ciclo de vida del animal, resultando más sensible los organismos jóvenes (estadios tempranos del desarrollo) que los adultos.

Por tanto, de forma generalizada y teniendo en cuenta las diferencias entre especies así como las limitaciones de la metodología de trabajo que estamos aplicando, podemos deducir que:

- En los primeros estadios del ciclo de vida de los moluscos, la tasa de supervivencia se reduce con incrementos de salinidad del orden de 2 psu.
- Moluscos adultos no ven afectada de manera significativa la tasa de supervivencia hasta incrementos de salinidad mayores a 5 psu. Cabe mencionar que esta afirmación debe de ser considerada con cautela ya que desafortunadamente carecemos de datos del efecto del incremento de salinidad en cefalópodos adultos que la corroboren.

5.2.2 Crustáceos

I. Antecedentes

Los crustáceos son un extenso grupo perteneciente al filo de artrópodos, con más de 67.000 especies descritas. Son fundamentalmente acuáticos y habitan en todas las profundidades, tanto en el medio marino, salobre y de agua dulce; unos pocos han colonizado el medio terrestre, como la cochinilla de la humedad (isópodos). Los crustáceos son uno de los grupos zoológicos con mayor éxito biológico, tanto por el número de especies vivientes como por la diversidad de hábitats que colonizan.

Constituyen un grupo muy heterogéneo en cuanto a la anatomía y la fisiología aunque poseen una serie de caracteres comunes. Como característica propia y definitoria del grupo podemos



citar la presencia de larva nauplio provista de un ojo naupliano en alguna etapa de su vida, que puede ser sustituido más tarde por dos ojos compuestos. Los crustáceos son los únicos artrópodos con dos pares de antenas, tienen al menos un par de maxilas y pasan por períodos de muda e intermuda para poder crecer.

Entre los distintos grupos taxonómicos en los que se divide el subfilo de los crustáceos, la clase de los malacostráceos se puede considerar la más importante y amplia a la que pertenecen la mayoría de las especies que presentan un interés económico para el hombre.

Todas las especies incluidas en los siguientes apartados corresponden al grupo más conocido de los crustáceos: al orden Decápodos dentro de la clase de malacostráceos. A este orden pertenecen un cuarto de las especies totales de crustáceos, incluyendo especies como las langostas, los camarones, los cangrejos o los langostinos. Su característica más importante es la presencia de un caparazón quitinoso que cubre cabeza y tórax y también las cámaras branquiales laterales. De los ocho pares de apéndices torácicos los tres primeros se han transformado para cobrar una función alimenticia y los cinco restantes se emplean en la locomoción (dando nombre al grupo; decápodos).

Su adaptación a la natación es pequeña (aunque algunos grupos poseen cierta capacidad natatoria) y viven fundamentalmente asociados al sustrato (organismos bentónicos) desde la zona supralitoral en las zonas costeras hasta grandes profundidades en las dorsales oceánicas. Es común observar un buen número de estos crustáceos en charcas que se forman en la zona intermareal donde las condiciones de salinidad y temperatura son muy variables. Incluso algunos organismos poseen estructuras que les permiten impedir la pérdida de agua, adaptándose a los periodos sin marea impidiendo la desecación.

II. Bibliografía revisada

En este apartado se enumera la bibliografía ordenada por año de publicación. No obstante, en la tabla de resumen de resultados del apartado siguiente se ha realizado una primera ordenación para agrupar organismos del mismo género o familia.

No se incluye en este apartado las referencias bibliográficas que por analizar distinta especies de invertebrados ya han sido enumeradas en el apartado correspondiente del punto anterior.

- [40] Gross, W.J. (1957). An analysis of response to osmotic stress in selected decapod crustacea. *Biological Bulletin* 112, 43-62.
- [41] Coffin, H.G. (1958) The laboratory culture of *Pagurus samuelis* (Stimpson) (Crustacea, Decapoda). Walla Walla College, Dept. of Biological Sciences.
- [42] Cintron, G., Maddux, W.S., and Burkhold.Pr. (1970). Some consequences of brine pollution in bahia-fosforescente, puerto-rico. *Limnology and Oceanography* 15, 246-&.
- [43] Bookhout, C.G. (1972) The effect of salinity on molting and larval development of *Pagurus alatus Fabricus* reared in the laboratory. Battaglia, B. (Ed.). Fifth European Marine Biology Symposium., 173-187.
- [44] Richard H, C. (1975) Chapter 6. Biological Impact of a Large-Scale Desalination Plant at Key West, Florida. In: Elsevier Oceanography Series. Johannes, E.J.F.W.a.R.E. ed.: Elsevier, pp. 99-153.



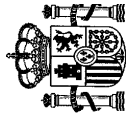
- [45] Ramasamy, A., and Paul Pandian, A. (1985) Environmental Physiology of the Prawn *Penaeus (Melicertus) latisulcatus* In: First Intl. Conf. on the culture of penaeid prawns/shrimp SEAFDEC, Philippines.
- [46] Blaszkowski, C., and Moreiera, G.S. (1986) Combined effects of temperature and salinity on the survival and duration of larval states of *Pagurus criticornis*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 103, 77-86.
- [47] Wu, J. (1990) Environmental factors affecting the survival and growth of Western King Prawn, *Penaeus latisulcatus*, under aquaculture conditions in Spencer Gulf, South Australia. University of Adelaide.
- [48] Pillard, D.A., DuFresne, D.L., Tietge, J.E., and Evans, J.M. (1999) Response of mysid shrimp (*Mysidopsis bahia*), sheepshead minnow (*Cyprinodon variegatus*), and inland silverside minnow (*Menidia beryllina*) to changes in artificial seawater salinity. Environmental Toxicology and Chemistry 18, 430-435.
- [49] Kumlu, M., Eroldogan, O.T., and Saglamtimur, B. (2001) The effects of salinity and added substrates on growth and survival of *Metapenaeus monoceros* (Decapoda : Penaeidae) post-larvae. Aquaculture 196, 177-188.
- [50] Minh Sang, H., and Fotedar, R. (2004) Growth, survival, haemolymph osmolality and organosomatic indices of the western king prawn (*Penaeus latisulcatus* Kishinouye, 1896) reared at different salinities. Aquaculture 234, 601-614.
- [51] Zacharia, S., and Kakati, V.S. (2004) Optimal salinity and temperature for early developmental stages of *Penaeus merguensis* De man. Aquaculture 232, 373-382.
- [52] Romano, N., and Zeng, C.S. (2006) The effects of salinity on the survival, growth and haemolymph osmolality of early juvenile blue swimmer crabs, *Portunus pelagicus*. Aquaculture 260, 151-162.
- [53] Samuel, N.J., and Soundarapandian, P. (2010) Effect of Salinity on the Growth, Survival and Development of the Commercially Important Portunid Crab Larvae of *Portunus sanguinolentus* (Herbst). Current Research Journal of Biological Sciences 2, 286-293.

III. Descripción de los trabajos y resumen de resultados

En la tabla de las páginas siguientes se recogen los principales resultados obtenidos en estos trabajos.

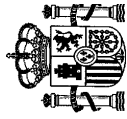
Tabla 6: Resumen de resultados del efecto del incremento de salinidad en Crustáceos

Referencia	Nombre común	Especie	Salinidad referencia (psu)	Salinidad estudiada (psu)	Variable estudiada	Respuesta (Rs)	Zona de estudio	Distribución de especie	Interés comercial	Período de exposición (días)	Observaciones
Gross et al, 1957 [40]	Decápodo del intermareal bajo	<i>Emerita analoga</i>	34.6	43	Concentración en sangre (% agua de mar)	No es organismo osmoregulador. Isotónico con el medio hasta esta salinidad. Supervivencia	Playas de California	Costa Este del Pacífico	Sin usos comerciales (cabo de pescadores)	1	Artículo muy específico de capacidad osmoreguladora de decápodos. Estas especies son típicas del pacífico. Nombrar otras especies pero sin datos concretos. Exposición directa a los tratamientos de salinidad
				52	Mortalidad (% del total)	0 en el control 100 en el tratamiento de salinidad (2 horas desde inicio)					
Coffin et al, 1958 [41]	Cangrejo ermitaño de banda azul	<i>Pachygrapsus crassipes</i>	34.6	52	Concentración en sangre (% agua de mar)	Organismo osmoregulador. Hipotónico con el medio has esta salinidad. Supervivencia	Nápoles, Italia	Costa Este del Atlántico y Mediterráneo	Sin usos comerciales		Es una referencia de Blaszkowski, 1986. No se ha encontrado el artículo.
				61	Mortalidad	Mortalidad de los individuos					
				55.2	Desarrollo larvario	No completaron el desarrollo					
Bookhout et al, 1972 [43]	Cangrejo ermitaño	<i>Pagurus alatus</i>		35	Supervivencia de larvas y duración de los estadios del desarrollo larvario	Límite superior para el desarrollo larvario del estadio zoea	Key West, Florida	Costa Este del Atlántico y Mediterráneo	Sin usos comerciales	4	Solo se dispone del abstract del artículo.
				45	Tasa de mortalidad de adultos (% del total)	Retraso en los estadios del desarrollo larvario. Mayor mortalidad					
Richard, 1975 [44]	Cangrejo moro	<i>Menippe mercenaria</i>	36	40.2	Tasa de mortalidad de adultos (% del total)	0 en el control	Sao Paulo, Brasil (salinidad 34-36 psu)	Golfo de Méjico y Florida	Consumo humano a pequeña escala	30	Se realizan también experimentos <i>in situ</i> y con varias diluciones de efluente. Desafortunadamente el efluente contiene cobre. Estos datos corresponden a bioensayos con sal artificial.
				55	Supervivencia de larvas y duración de los estadios del desarrollo larvario	0 en el tratamiento de salinidad					
Blaszkowski et al, 1986 [46]	Cangrejo ermitaño	<i>Pagurus cincticornis</i>	34	35	Tasa de supervivencia de juveniles (% del total)	Finalización del desarrollo larvario a temperaturas comprendidas entre 20-30°C	Costa oeste del Atlántico	Sin usos comerciales	Estudio combinado del efecto de salinidad y temperatura. Exposición directa a los tratamientos de salinidad.	45	Organismos cultivados a 32 psu con exposición gradual a los tratamientos de salinidad (3 psu/día). Desafortunadamente no se utiliza una salinidad control. Analiza otros descriptores como crecimiento entre distintos estados de cangrejos juveniles o hemolinfa.
				45	Tasa de crecimiento en longitud (mm día ⁻¹)	Retraso de los diferentes estadios del desarrollo a bajas temperaturas					
				35	Tasa de crecimiento en anchura (mm día ⁻¹)	No se finaliza el desarrollo, no se consiguen cangrejos adultos					
				35	Tasa de crecimiento en peso (g día ⁻¹)	63.3 en el tratamiento de salinidad					
				35	Tasa de supervivencia de juveniles (% del total)	2.77 en el tratamiento de salinidad					
				35	Tasa de crecimiento en longitud (mm día ⁻¹)	2.77 en el tratamiento de salinidad					
				35	Tasa de crecimiento en anchura (mm día ⁻¹)	3.14 en el tratamiento de salinidad					
				35	Tasa de crecimiento en peso (g día ⁻¹)	8.95 en el tratamiento de salinidad					
				35	Tasa de supervivencia de juveniles (% del total)	86.6 en el tratamiento de salinidad					
				35	Tasa de crecimiento en longitud (mm día ⁻¹)	2.45 en el tratamiento de salinidad					
Romano et al, 2006 [52]	Cangrejo nadador azul	<i>Portunus pelagicus</i>	32	40	Tasa de crecimiento en longitud (mm día ⁻¹)	2.82 en el tratamiento de salinidad	Queensland Australia	Suroeste del Pacífico, Índico y Este del mediterráneo	Consumo humano. Especie cultivada	45	
				40	Tasa de crecimiento en anchura (mm día ⁻¹)	2.82 en el tratamiento de salinidad					
				40	Tasa de crecimiento en peso (g día ⁻¹)	7.69 en el tratamiento de salinidad					
				40	Tasa de supervivencia de juveniles (% del total)	43.3 en el tratamiento de salinidad					
				40	Tasa de crecimiento en longitud (mm día ⁻¹)	2.04 en el tratamiento de salinidad					
45	Tasa de crecimiento en anchura (mm día ⁻¹)	2.82 en el tratamiento de salinidad									
45	Tasa de crecimiento en peso (g día ⁻¹)	6.55 en el tratamiento de salinidad									



Referencia	Nombre común	Especie	Salinidad referencia (psu)	Salinidad estudiada (psu)	Variable estudiada	Respuesta (Rs)	Zona de estudio	Distribución de especie	Interés comercial	Periodo de exposición (días)	Observaciones
Samuel, 2010 [53]	Cangrejo de lunares sangrientos	<i>Portunus sanguinolentus</i>	35.00	40	Tasa de supervivencia de larvas(% del que finaliza desarrollo)	87 en el control 54 en el tratamiento de salinidad	India	Oeste del Pacífico e Índico	Consumo humano. Especie cultivada	Variable (aprox. 10)	Exposición gradual al tratamiento (2 psu/día). También estudia el límite inferior de tolerancia.
Cintron et al, 1970 [42]	Langosta	<i>Panulirus sp</i>	36.86	57	Tasa de desarrollo (desarrollo larvario día ⁻¹)	0.04 en el control 0.029 en el tratamiento de salinidad	Puerto Rico	Desconocido			Estudio realizado sobre un vertido de una salina al mar por accidente en Puerto Rico
Ramasamy et al, 1985 [45]	Langostino marfil	<i>Penaeus latisulcatus (Melicertus latisulcatus)</i>	26	45 50 60	Tasa de supervivencia	Limite superior de mínima mortalidad de individuos límite superior de tolerancia al incremento de salinidad 100 de mortalidad	Tamil Nadu, India	Suroeste del Pacífico e Índico	Consumo humano. Especie cultivada		Sólo se ha encontrado el poster presentado a un congreso de este trabajo y por tanto se desconocen los detalles del experimento
Wu, 1990 [47]	Langostino marfil	<i>Melicertus latisulcatus</i>		> 52 g/l > 63 g/l > 40 g/l	Mortalidad	Mortalidad de adultos Mortalidad de juveniles Mortalidad de las larvas	Australia	Suroeste del Pacífico e Índico	Consumo humano. Especie cultivada		NO se ha encontrado este artículo. Estos datos se han obtenido de la revisión bibliográfica del apéndice 8 de Olympyc Dam Extension Project
Minh Sang et al, 2003 [50]	Langostino marfil	<i>Penaeus latisulcatus (Melicertus latisulcatus)</i>	35 g/l	22-34 46 g/l	Tasa de crecimiento de adultos en peso (%) Tasa de crecimiento de adultos en longitud (%) Tasa de supervivencia (% del total) Incremento de longitud del caparazón entre mudas (%)	Salinidad óptima para el desarrollo de los organismos adultos 1.154 en el control 0.667 en el tratamiento de salinidad 0.345 en el control 0.101 en el tratamiento de salinidad 20 en el control 6.82 en el tratamiento de salinidad 3.56 en el control 2.54 en el tratamiento de salinidad	Oeste de Australia	Suroeste del Pacífico e Índico	Consumo humano. Especie cultivada	60	Cambio gradual de salinidad (2 psu/día). Acimatación a 35 psu pero no se dan datos de cultivo a está salinidad. Se consideran como control los datos obtenidos para 34 g/l. En el artículo se dan salinidades óptimas para el cultivo de otros <i>Penaeus</i>
Geotechnical services, 2008 [33]	Langostino marfil	<i>Melicertus latisulcatus</i>	39.9	40.53 42.38 59.79 79.20 59.79 79.20 61.08 69.23	Crecimiento de juveniles (gdw) Índices de toxicidad (crecimiento de juveniles)	Aumento de 2.9% en el control Aumento de 0 % en el tratamiento de salinidad Aumento de 2.9% en el control Reducción de un 10 % en el tratamiento de salinidad Aumento de 2.9% en el control Aumento de 4.2 % en el tratamiento de salinidad Aumento de 2.9% en el control Reducción de 100 % en el tratamiento de salinidad NOEC (Sin influencia sobre el crecimiento de juveniles) LOEC (min. concentración para reducción del crecimiento) EC10 (Concentración con 10% de reducción de crecimiento) EC50 (Concentración con 50% de reducción de crecimiento)	Australia	Suroeste del Pacífico e Índico	Consumo humano. Especie cultivada	21	Apéndice O.10.2 Del Estudio de Impacto ambiental del proyecto Olympyc Dam Extension [30]. Estudio realizado para determinar el impacto de dicha desaladora. A partir de los resultados de este estudio determinan la dilución necesaria para proteger el 95% de las especies presentes en la zona de vertido.

Referencia	Nombre común	Especie	Salinidad referencia (psu)	Salinidad estudiada (psu)	Variable estudiada	Respuesta (Rs)	Zona de estudio	Distribución de especie	Interés comercial	Período de exposición (días)	Observaciones
Geotechnical services, 2008 [33]	Langostino marfil	<i>Mellicertus latisulcatus</i>	39.9	40.53	Crecimiento de adultos (gdw)	Aumento de 24% en el control	Australia	Suroeste del Pacífico e Índico	Consumo humano. Especie cultivada	28	Apéndice O.10.2 Del Estudio de Impacto ambiental del proyecto Olympic Dam Extension [30]. Estudio realizado para determinar el impacto de dicha desaladora. A partir de los resultados de este estudio determinan la dilución necesaria para proteger el 95% de las especies presentes en la zona de vertido.
				41.16		Aumento de 21% en el tratamiento de salinidad					
				44.89		Aumento de 24 % en el control					
				44.89		Aumento de 13 % en el tratamiento de salinidad					
				44.89		Aumento de 24 % en el control					
				44.89		Reducción de 100 % en el tratamiento de salinidad					
				44.89		Reducción de 100 % en el tratamiento de salinidad					
				44.89		Reducción de 100 % en el tratamiento de salinidad					
				44.89		Reducción de 100 % en el tratamiento de salinidad					
				44.89		Reducción de 100 % en el tratamiento de salinidad					
Hydrobiology Pty Ltd, 2006 [32]	langostino Jumbo	<i>Penaeus monodon</i>	36.3	38.20	Tasa de supervivencia de juveniles (% del total)	90 en el control	Australia	Cosmopolita	Interés comercial. Especia cultivada	4	Apéndice O.10.2 Del Estudio de Impacto ambiental del proyecto Olympic Dam Extension [30]. Estudio realizado para determinar el impacto de dicha desaladora.
				40.20		85 en el tratamiento de salinidad					
				43.90		90 en el control					
				43.90		95 en el tratamiento de salinidad					
				43.90		90 en el control					
				43.90		65 en el tratamiento de salinidad					
				43.90		90 en el control					
				43.90		20 en el tratamiento de salinidad					
				43.90		NOEC (NO se observa influencia sobre la supervivencia)					
				43.90		NOEC (NO se observa influencia sobre la supervivencia)					
Pillard, 1999 [48]	Camarón	<i>Mysidopsis bahia</i> (<i>Americamysis bahia</i>)	25	35.00	Tasa de supervivencia de larvas nauplius (% del total)	100 en el control	Golfo de Méjico	Caribe y costa este de EEUU	Sin interés comercial conocido	2	Distribución por Atlántico de EEUU. Exposición directa a los tratamientos de salinidad tras cultivo a 25 psu. Datos obtenidos a partir de gráficas
				40.00		100 en el tratamiento de salinidad					
				40.00		100 en el control					
				40.00		70 en el tratamiento de salinidad					
				42.25		100 en el control					



Referencia	Nombre común	Especie	Salinidad referencia (psu)	Salinidad estudiada (psu)	Variable estudiada	Respuesta (Rs)	Zona de estudio	Distribución de especie	Interés comercial	Periodo de exposición (días)	Observaciones
Kumlu, 2001 [49]	Camarón moteado o jambón mozambiqueño	<i>Metapanaeus monocertus</i>	40	45	Supervivencia de larvas Mysis (% del total)	83.75 en el control	Yumurtalik, Turquía	Indo-Pacífica y Este de Mediterráneo	Consumo humano. Especie cultivada	12	No se han encontrado referencias que lo citen en costas españolas. Resultados obtenidos a partir de tablas. Exposición gradual a diferentes salinidades (2 psu/día) tras aclimatación a 40 psu. Se realizaron también ensayos de cambio brusco de salinidad (supervivencia de larva protozoa durante 2 h a 60 psu)
					Supervivencia hasta pos larva (juvenil) (%)	67.25 en el tratamiento de salinidad					
					Crecimiento de larvas hasta mysis (mm día ⁻¹)	68 en el control					
					Crecimiento de larvas hasta postlarva (mm día ⁻¹)	40 en el tratamiento de salinidad					
					Supervivencia de larvas Mysis (% del total)	0.338 en el control					
					Supervivencia hasta postlarva (juvenil) (%)	0.295 en el tratamiento de salinidad					
					Crecimiento de larvas hasta mysis (mm día ⁻¹)	0.245 en el control					
					Crecimiento de larvas hasta postlarva (mm día ⁻¹)	0.128 en el tratamiento de salinidad					
					Supervivencia de larvas Mysis (% del total)	83.75 en el control					
					Supervivencia hasta postlarva (juvenil) (%)	58.75 en el tratamiento de salinidad					
					Crecimiento de larvas hasta mysis (mm día ⁻¹)	68 en el control					
					Crecimiento de larvas hasta postlarva (mm día ⁻¹)	32.25 en el tratamiento de salinidad					
					Supervivencia de larvas Mysis (% del total)	0.338 en el control					
					Supervivencia hasta postlarva (juvenil) (%)	0.296 en el tratamiento de salinidad					
Crecimiento de larvas hasta mysis (mm día ⁻¹)	0.245 en el control										
Crecimiento de larvas hasta postlarva (mm día ⁻¹)	0.065 en el tratamiento de salinidad										
Zacharia, 2004 [51]	Camarón banana	<i>Penaeus merguensis</i>	32	30	Supervivencia de larvas Mysis (% del total)	83.75 en el control	India (salinidad óptima)	Indo-pacífica (aguas tropicales)	Consumo humano. Cultivo de la especie en estudio	Variable (aprox. 10)	Estudio combinado de temperatura y salinidad. Sólo aportamos datos obtenidos a 22°C. Salinidad de aclimatación de 32 (desafortunadamente no realiza el estudio a esta salinidad). Exposición directa a los tratamientos.
					Supervivencia hasta postlarva (juvenil) (%)	68 en el control					
					Crecimiento de larvas hasta mysis (mm día ⁻¹)	32 en el tratamiento de salinidad					
					Crecimiento de larvas hasta postlarva (mm día ⁻¹)	68 en el control					
					Supervivencia de larvas Mysis (% del total)	0 en el tratamiento de salinidad					
					Supervivencia hasta postlarva (juvenil) (%)	0 en el tratamiento de salinidad					
					Crecimiento de larvas hasta mysis (mm día ⁻¹)	0.338 en el control					
					Crecimiento de larvas hasta postlarva (mm día ⁻¹)	0.227 en el tratamiento de salinidad					
					Supervivencia de larvas Mysis (% del total)	0.245 en el control					
					Supervivencia de larvas Mysis (% del total)	60 en este tratamiento de salinidad					
					Supervivencia hasta postlarva (juvenil) (%)	60 en este tratamiento de salinidad					
					Crecimiento de larvas hasta mysis (mm día ⁻¹)	44 en este tratamiento de salinidad					
					Crecimiento de larvas hasta postlarva (mm día ⁻¹)	33 en este tratamiento de salinidad					
					Supervivencia de larvas Mysis (% del total)	82 en este tratamiento de salinidad					
Supervivencia hasta postlarva (juvenil) (%)	79 en este tratamiento de salinidad										
Crecimiento de larvas hasta mysis (mm día ⁻¹)	49 en este tratamiento de salinidad										
Crecimiento de larvas hasta postlarva (mm día ⁻¹)	45 en este tratamiento de salinidad										
Supervivencia de larvas Mysis (% del total)	55 en este tratamiento de salinidad										
Supervivencia hasta postlarva (juvenil) (%)	61 en este tratamiento de salinidad										
Crecimiento de larvas hasta mysis (mm día ⁻¹)	45 en este tratamiento de salinidad										
Crecimiento de larvas hasta postlarva (mm día ⁻¹)	40 en este tratamiento de salinidad										

IV. Análisis de resultados y conclusiones

A la vista de estos resultados de la tabla de la página anterior se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1.- De nuevo mencionar la heterogeneidad de las variables estudiadas, la edad de los organismos, la manera de representar los resultados, las salinidades consideradas como control (recordamos que para este apartado se han tenido en cuenta especies distribuidas por todos los mares y océanos), el periodo y tipo de exposición y fundamentalmente de los resultados en si mismos.

Muchos de los estudios se realizaron con organismos juveniles y adultos aunque también son comunes los análisis en distintas etapas del desarrollo larvario de los crustáceos. En casi todos los estudios se analiza la tasa de mortalidad/supervivencia aunque también otras variables como la ganancia de peso o longitud (crecimiento) o el éxito del desarrollo embrionario/larvario. En algunos casos los propios autores proporcionan el índice estadístico de toxicidad para la variable estudiada.

2.- Considerando la variabilidad de la salinidad de referencia o control a la que están aclimatados los organismos en los distintos estudios, así como de las salinidades de cada tratamiento, para poder comparar el conjunto de resultados resumidos en la tabla del apartado anterior, se ha considerado el incremento de salinidad de cada tratamiento respecto a la salinidad del medio o salinidad control. En los gráficos de la Figura 9 se representan las repuestas obtenidas para la variable “tasa de supervivencia” (total – tasa de mortalidad cuando es esta variable la que se facilita en el artículo) para cada especie en función del incremento de salinidad agrupada por intervalos.

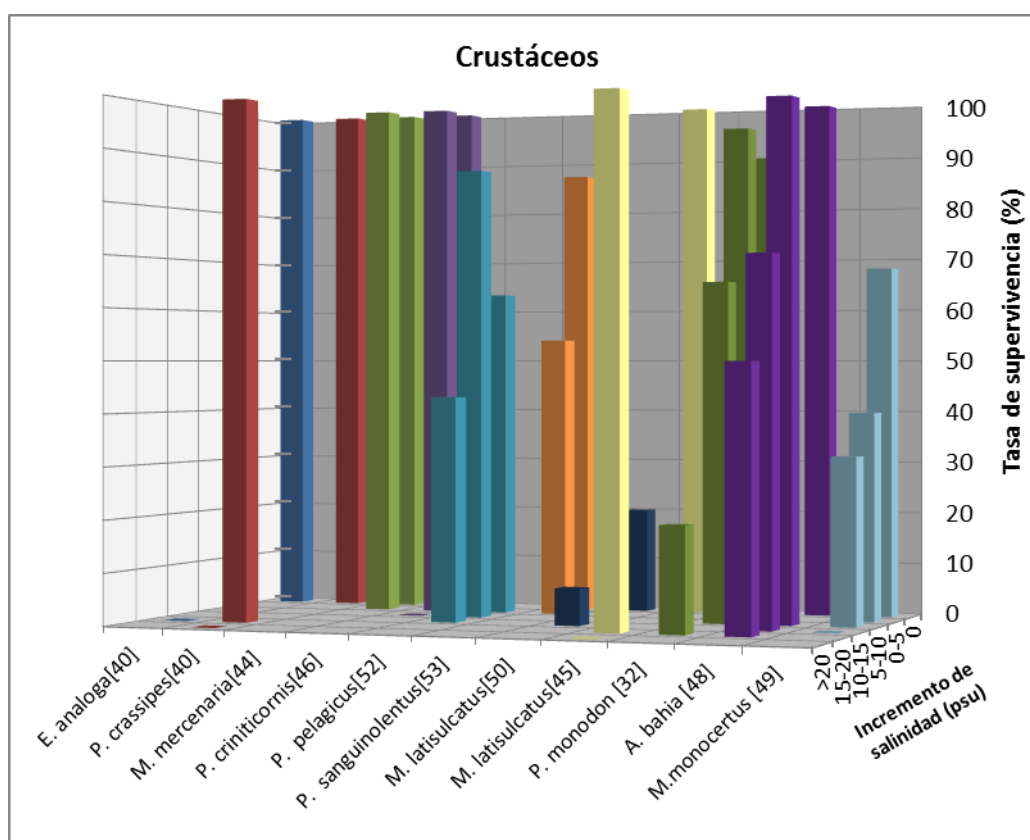


Figura 9: Tasa de supervivencia de distintas especies de crustáceos en función del incremento de salinidad del tratamiento respecto a la salinidad control agrupado por intervalos.



CEDEX

En el caso de crustáceos, observamos como para casi todas las especies estudiadas y al igual que sucede con los moluscos, incrementos de salinidad de hasta 5 psu no disminuyen de manera relevante la tasa de supervivencia. Incluso en algunas especies como *Melicertus latisulcatus* [45] o *Pachygrapsus crassipes* [40] la supervivencia no se ve afectada a incrementos de salinidad de hasta 20 psu.

No obstante, es necesario destacar algunas excepciones observadas:

- *Metapanaeus monocertus* [49] y *Portunus sanguinolentus*[53]: En ambos casos lo que se analiza es la supervivencia de larvas (hasta el final del desarrollo) y se observa que con incrementos de salinidad de 5 psu, se produce una reducción importante (en torno al 40%). Durante el desarrollo larvario, los crustáceos pasan por varios estadios antes de alcanzar el adulto. El paso de una forma larvaria a la siguiente recibe el nombre de "muda". Durante este proceso el animal sufre importantes modificaciones (se desprende y abandona el caparazón que originalmente lo cubre, aumenta de tamaño y forma otro nuevo, etc), lo que podría suponer un estrés adicional al producido por el incremento de salinidad.

De hecho en el estudio con *Metapanaeus monocertus* que se llevó a cabo con organismos desde el primer estadio de protozoa hasta post-larva se realizaron también medidas en un estadio intermedio del desarrollo larvario (larvas Mysis) observándose que la reducción en la supervivencia por el incremento de salinidad aunque todavía notable era menor que en el caso de organismos mantenidos hasta el final del desarrollo larvario (reducción entorno al 20%)

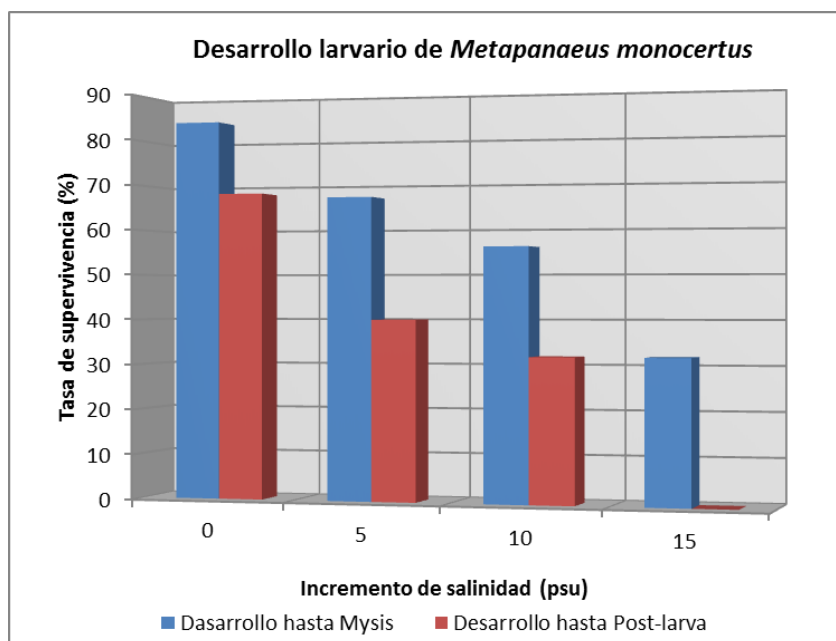


Figura 10: Efecto del incremento de salinidad en el desarrollo larvario de *Metapanaeus monocertus* [49]

Desafortunadamente no tenemos datos que confirmen estos resultados en *Portunus sanguinolentus*. Sin embargo, en otra especie de este mismo género *P. pelagicus* [52] con incrementos de salinidad de 8 psu no se observan una disminución de la supervivencia de juveniles.

- *Melicertus latisulcatus* [50]: No se proporcionan datos de la tasa de supervivencia a incrementos de salinidad de hasta 5 psu, pero ésta es muy reducida con un incremento de 10 psu (reducción del 65%). No obstante, considerando la escasa supervivencia observada en el control y los datos proporcionados por otros autores para esta misma especie, no se pueden considerar los primeros como fiables.

3.- Además de la tasa supervivencia, en los gráficos de la Figura 11 se muestran los resultados obtenidos para otras variables menos severas pero también importantes, como es la tasa de crecimiento para distintas especies en función del incremento de salinidad agrupada por intervalos. A pesar de no disponer de suficientes datos que permita determinar el umbral de tolerancia de crustáceos, con el análisis de estas variables, lo que se pretende con estos gráficos es mostrar como la afección en otro tipo de variables podría ser apreciable con incrementos de salinidad menores. Por ejemplo, el crecimiento de adultos de *M latisulcatus* [33] en peso se reduce un 40 % para incrementos de salinidad respecto al control de 5 psu.

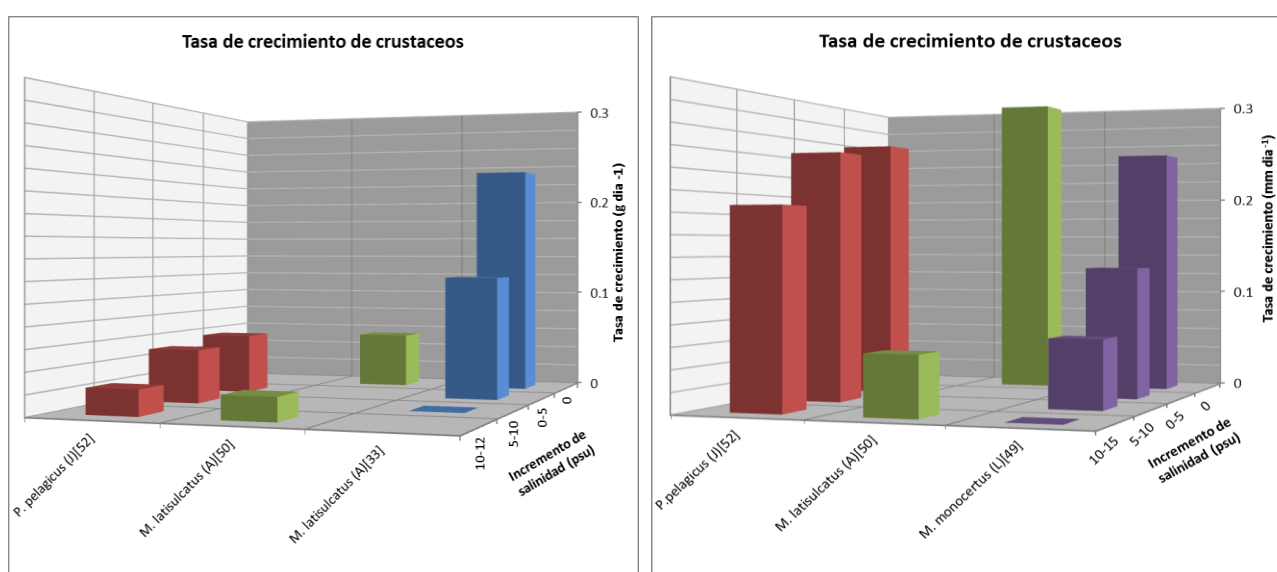


Figura 11: Tasa de crecimiento de distintas especies de crustáceos en función del incremento de salinidad del tratamiento respecto a la salinidad control agrupado por intervalos. Izquierda; Crecimiento en peso. Derecha, Crecimiento en longitud.

Por todo lo mencionado en los párrafos anteriores y de forma generalizada, podemos concluir que, al igual de lo que sucede en moluscos, incrementos de salinidad de 5 psu no parece afectar a la tasa de supervivencia de adultos para las especies estudiadas. En el caso de larvas sin embargo, el proceso de muda podría influir en la tolerancia de los organismos a la salinidad durante las primeras fases de su desarrollo siendo más sensibles que en el caso de organismos adultos.

Del mismo modo, el incremento de salinidad en el que se observa algún tipo de afección en distintas especies, independientemente de su desarrollo, parece ser menor cuando se analizan otras variables como la tasa de crecimiento. Sin embargo no se disponen de datos suficientes que permitan corroborar esta hipótesis.



CEDEX

5.2.3 Equinodermos

I. Antecedentes

Los equinodermos son un filo de animales exclusivamente marinos y bentónicos. Su nombre alude a que están formados por un exosqueleto externo de placas dérmicas calcáreas con espinas o acúleos (aguijones). Poseen simetría pentarradial secundaria, caso único en el reino animal (animales triblásticos, de simetría bilateral durante la fase larvaria y pentarradial cuando alcanzan el estado adulto).

Existen aproximadamente unas 7.000 especies actuales y unas 13.000 extintas, ya que su historia se remonta a principios del Cámbrico. Los organismos vivos se clasifican en tres grandes grupos o subfilos; *Crinozoa* al que pertenecen los crinoideos, *Asterozoa* que incluye a las ofiuras y a las estrellas de mar y *Equinozoa* al que pertenecen los erizos y las holoturias (pepinos de mar).

Excepto algunos crinoideos sésiles que permanecen fijados a las rocas u otras superficies, la mayoría de los equinodermos presentan poca movilidad aunque son capaces de reptar sobre los fondos e incluso excavar, actividades que realizan gracias al movimiento de sus brazos.

Están distribuidos en todos los océanos y profundidades. En algunas regiones de aguas profundas pueden llegar a representar el 95% de la biomasa. En aguas someras, se encuentran altamente diversificados. Son muy comunes en las charchas que se forman en la zona intermareal donde se les observa bajo las rocas o sobre fondos arenosos.

Son organismos osmoconformistas en los que la concentración salina de su medio interno es igual a la del medio externo y carecen de órganos excretores y osmorreguladores. Se considera que la gran mayoría de los equinodermos son estenohalinos, sin embargo, existen casos de adaptación a mayores rangos de salinidades.

Algunas especies de equinodermos, como los erizos de mar y las holoturias son muy apreciadas en la gastronomía de algunas regiones. La parte más apreciada de los erizos son las gónadas femeninas. De las holoturias se consume la pared del cuerpo.

II. Bibliografía revisada

En este apartado se enumera la bibliografía ordenada por año de publicación. No se incluyen las referencias bibliográficas que por analizar distinta especie de invertebrados ya han sido enumeradas en el apartado correspondiente del punto anterior. Sólo se han encontrado dos referencias en las que se estudia exclusivamente el efecto de la salmuera en especies de equinodermos. El resto de referencias ya han sido incluidas en apartados anteriores.

- [54] Lopez-Ortiz, B.E., and Sanchez, A. (2009) Effect of increased salinity in the ovum fertilization of sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus* and *Lytechinus anamesus*. *Hidrobiologica* 19, 181-184.
- [55] Hu, M.Y., Li, Q., and Li, L. (2010) Effect of salinity and temperature on salinity tolerance of the sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *Fisheries Science* 76, 267-273.

III. Descripción de los trabajos y resumen de resultados

En la tabla de las páginas siguientes se recogen los principales resultados obtenidos en estos trabajos. En esta tabla de resumen de resultados se ha realizado una primera clasificación de los artículos analizados para agrupar organismos del mismo género o familia.

Tabla 7: Resumen de resultados del efecto del incremento de salinidad en Equinodermos

Referencia	Nombre común	Especie	Salinidad referencia (psu)	Salinidad estudiada (psu)	Variable estudiada	Respuesta (Rs)	Zona de estudio	Distribución de especie	Interés comercial	Periodo de exposición (días)	Observaciones
ABA consultans, 1992 [39]	Salpa del pacífico	<i>Dendroaster excentricus</i>	33	48	Tasa de mortalidad	Sin efecto sobre organismos adultos	Monterey, California (EEUU)	Pacífico Norte (de Alaska a Baja California)	Sin usos comerciales conocidos	Corto periodo de exposición	NO se ha encontrado este artículo. Estos datos se han obtenido de la revisión bibliográfica del apéndice 8 de Olympic Dam Extension Project. Exposición directa a los tratamientos de salinidad. Estudio específico para determinar la afección de una planta desaladora. Realizan un estudio previo de la zona de vertido concluyendo que la salinidad máxima encontrada es de 36 psu y por esos realizan el estudio con esa salinidad. Concluyen que no hay afección de la salmuera.
				36	Tasa de ganancia de peso (%). Test biométrico	4.5 en el control 3.5 en el tratamiento de salinidad				170 (5 meses y medio)	
Le Page et al 2005 [29] y Voutchkov, 2009 [34]	Salpa del pacífico	<i>Dendroaster excentricus</i>	33.5	40	Tasa de mortalidad (% del total)	0 en el control 0 en el tratamiento de salinidad	Carlsbad, (California)	Pacífico Norte (Alaska a Baja California)	Consumo humano	170 (5 meses y medio)	Se realizan también experimentos in situ y con varias diluciones de efluente. Desafortunadamente el efluente contiene cobre. Estos datos corresponden a bioensayos con sal artificial.
				40	Tasa de mortalidad (% del total)	0 en el control 0 en el tratamiento de salinidad					
Richard H, C. 1975 [44]	Erizo verde	<i>Lytechinus variegatus</i>	36	40.2	Tasa de mortalidad de adultos (% del total)	0 en el control 0 en el tratamiento de salinidad	Key West, Florida	Atlántico Oeste	Sin usos comerciales conocidos	4	Es el mismo estudio y artículo de Lepage 2005
				36	Tasa de ganancia de peso (%). Test biométrico	2.4 en el control 2.8 en el tratamiento de salinidad 7.2 en el control 7.9 en el tratamiento de salinidad				170 (5 meses y medio)	
Le Page et al 2005 [29] y Voutchkov, 2009 [34]	Erizo rojo	<i>Strongylocentrotus franciscanus (Mesocentrotus franciscanus)</i>	33.5	36	Desarrollo larvario (% de larvas normales del total de huevos eclosionados)	Tasa de ganancia de peso (%). Test biométrico	Carlsbad, (California)	Pacífico Norte (de Alaska a Baja California)	Consumo humano	170 (5 meses y medio)	Apéndice O.10.2 Del Estudio de Impacto ambiental del proyecto Olympic Dam Extension [30].
				37.50							
Hydrobiology Pty Ltd, 2006 [32]	Erizo de mar	<i>Helicoidaris tuberculata (Helicoidaris erythrogramma)</i>	36.3	44.40	Indíces de toxicidad (desarrollo larvario)	0 en el tratamiento de salinidad NOEC (NO se observa influencia sobre el desarrollo larvario) LOEC (min. concentración con disminución del desarrollo) EC50 (50% de individuos no finaliza desarrollo embrionario)	Australia	Índico (Endémico del Sur de Australia)	Sin interés comercial conocido	3	Estudio realizado para determinar el impacto de dicha desaladora.
				38.20							
Quintino et al, 2008 [35]	Erizo de mar	<i>Paracentrotus lividus</i>	36	41.47	Índice de toxicidad (desarrollo larvario)	0 en el tratamiento de salinidad EC50 (corregido con el control)	Costa central de Portugal	Atlántico Norte y Mediterráneo	Consumo humano. Cultivo de la especie en estudio	3	Estudio realizado para determinar el efecto de salmuera proveniente de erosión de rocas saladas. Realiza dos grupos de experimentos: con salmuera de la roca diluida (concentración de efluente mayor de 300 psu) y con controles de distintas concentraciones salinas (agua de mar + sal artificial) No se observan los mismos resultados con los dos grupos (menor EC50 con las primeras), concluyendo que en la salmuera influyen más factores que la sal. Salvo. Datos son obtenidos con los controles de sal artificial.
				40.50							
40	Índice de toxicidad (desarrollo larvario)	EC50 (corregido con el control)	Costa central de Portugal	Atlántico Norte y Mediterráneo	Consumo humano. Cultivo de la especie en estudio	3	Estudio realizado para determinar el efecto de salmuera proveniente de erosión de rocas saladas. Realiza dos grupos de experimentos: con salmuera de la roca diluida (concentración de efluente mayor de 300 psu) y con controles de distintas concentraciones salinas (agua de mar + sal artificial) No se observan los mismos resultados con los dos grupos (menor EC50 con las primeras), concluyendo que en la salmuera influyen más factores que la sal. Salvo. Datos son obtenidos con los controles de sal artificial.				
45								Fertilización de huevos (% del total)	97 en el control 98 en el tratamiento de salinidad 97 en el control 85 en el tratamiento de salinidad 97 en el control		
54	Índice de toxicidad (desarrollo larvario)	EC50 (corregido con el control)	Costa central de Portugal	Atlántico Norte y Mediterráneo	Consumo humano. Cultivo de la especie en estudio	3	Estudio realizado para determinar el efecto de salmuera proveniente de erosión de rocas saladas. Realiza dos grupos de experimentos: con salmuera de la roca diluida (concentración de efluente mayor de 300 psu) y con controles de distintas concentraciones salinas (agua de mar + sal artificial) No se observan los mismos resultados con los dos grupos (menor EC50 con las primeras), concluyendo que en la salmuera influyen más factores que la sal. Salvo. Datos son obtenidos con los controles de sal artificial.				
48.98								Fertilización de huevos (% del total)	97 en el control 98 en el tratamiento de salinidad 97 en el control 85 en el tratamiento de salinidad 97 en el control		

Referencia	Nombre común	Especie	Salinidad referencia (psu)	Salinidad estudiada (psu)	Variable estudiada	Respuesta (Rs)	Zona de estudio	Distribución de especie	Interés comercial	Periodo de exposición (días)	Observaciones			
López-Ortiz et al, 2009 [54]	Erizo blanco	<i>Lytechinus anamesus</i> (<i>Lytechinus pictus</i>)	33,4	38.4	Tasa de fertilización (% de óvulos no fertilizados)	0 en el control	Bahía de todos los Santos, Méjico	Pacífico Central	Sin usos comerciales encontrados	30 min	Estudio específico del efecto de la salmuera de plantas desaladoras. Se distribuyen por el océano pacífico (no se han encontrado referencias en España). Datos LC50 proporcionados por autor.			
				43.4		7.3 en el tratamiento de salinidad								
				48.4		0 en el control								
	38.4	Tasa de fertilización (% de óvulos no fertilizados)	70 en el tratamiento de fertilidad (LC50)	Pacífico Norte	Sin usos comerciales encontrados									
	43.4		0 en el control											
	48.4		6.2 en el tratamiento de salinidad											
Le Page et al 2005 [29] y Voutchkov, 2009 [34]	Estrella de mar morada	<i>Pisaster ochraceus</i>	33.5	36	Tasa de ganancia de peso (%). Test biométrico	4.6 en el control	Carsbald, (California)	Pacífico Norte (de Alaska a Baja California)	Sin usos comerciales	170 (5meses y medio)				
				36		3.8 en el tratamiento de salinidad								
				36		3.1 en el control								
	Pepino de mar Californiano	<i>Parastichopus californicus</i>	33.5	36	Tasa de ganancia de peso (%). Test biométrico	2.8 en el tratamiento de salinidad			Sin usos comerciales					
				36		2.3 en el control								
				36		2.2 en el tratamiento de salinidad								
	Hu et al, 2010 [55]	Pepino de mar	<i>Apostichopus japonicus</i>	35	43.00	Tasa de supervivencia de juveniles (% del total)	100 en el control	China	Océano Índico	Consumo humano. Especie cultivada	4	Esta especie de pepino de mar no se encuentra en España. Estudio del efecto de salinidad y temperatura. Organismos aclimatados a distintas salinidades y test realizados con distintas temperaturas. Los datos proporcionados en esta tabla son los obtenidos a 25°C. Se estudia exposición gradual a los tratamientos de salinidad (3 psu/hora) en la primera parte de la tabla y cambio brusco segunda parte. Finalmente se han seleccionado índices de EC50 el límite superior de tolerancia (USTL) (entre otros estadísticos del estudio) para 25° de temperatura y distintas salinidades de aclimatación.		
					45.00		100 en el tratamiento de salinidad							
					47.00		80 en el tratamiento de salinidad							
38.00					Tasa de supervivencia de juveniles (% del total)	100 en el control								
40.00						100 en el tratamiento de salinidad								
42.00						70 en el tratamiento de salinidad								
44.00					Índice de toxicidad (supervivencia de juveniles)	100 en el control								
37.80						60 en el tratamiento de salinidad								
35.10						100 en el control								
42.40					Índice de toxicidad (supervivencia de juveniles)	25								
37.30						30 en el tratamiento de salinidad								
45.90						50%CS _{max}								
40.6	Índice de toxicidad (supervivencia de juveniles)	35												
40.6		USTL												
40.6		50%CS _{max}												

IV. Análisis de resultados y conclusiones

A la vista de estos resultados de la tabla de la página anterior se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1.- Se mantiene la tónica observada ya en los apartados anteriores en cuanto a la heterogeneidad de las variables estudiadas, la edad de los organismos, la manera de representar los resultados, las salinidades consideradas como control (recordamos que para este apartado se han tenido en cuenta especies distribuidas por todos los mares y océanos), el periodo y tipo de exposición y esencialmente de los resultados en si mismos.

Fundamentalmente se analiza la tasa de mortalidad/supervivencia de los organismos, la tasa de ganancia de peso (crecimiento) y la tasa de fertilidad de huevos sometidos a distintos tratamientos de salinidad. En algunos casos los propios autores proporcionan el índice estadístico de toxicidad para la variable estudiada.

Además en el trabajo realizado por Hu et al, 2010 [55] con *Apostichopus japonicus* se analiza la influencia de la salinidad de aclimatación en la salinidad límite de supervivencia de los organismos. Es decir, analiza la conveniencia de expresar los límites de tolerancia como valores absolutos de salinidad o expresarlos como incremento respecto al medio en el que habitan. Para ello expone organismos aclimatados a distintas salinidades basándose en las condiciones ambientales de la zona de recolección de los individuos (25, 30 y 35 psu) a tratamientos de mayores concentraciones salinas. En la tabla siguiente se muestran los índices estadísticos que presenta el autor expresados como salinidades absolutas y como incremento de salinidad respecto a la salinidad de aclimatación.

Tabla 8: Tasa de supervivencia de juveniles de *A. japonicus* aclimatados a distintas salinidades y a 23°C de temperatura. Fuente: Hu et al [55]

S_0 (psu)	S_{max} (psu)	ΔS_{max} (psu)	$50\%S_{max}$ (psu)	$50\%\Delta S_{max}$ (psu)	S_{lim} (psu)	ΔS_{lim} (psu)
25	35	10	39	14	43	18
30	38	8	43.3	13.3	48	18
35	45	10	47.5	12.5	51	16

S_0 : Salinidad de aclimatación

S_{max} : Salinidad de máxima supervivencia. $\Delta S_{max} = S_0 - S_{max}$

$50\%S_{max}$: Salinidad a la que sobreviven el 50% de los individuos. $50\%\Delta S_{max} = S_0 - 50\%S_{max}$

S_{lim} : Salinidad crítica para la supervivencia de los individuos. $\Delta S_{lim} = S_0 - S_{lim}$

Como puede verse en la tabla, la salinidad crítica para la supervivencia es casi constante para las tres salinidades de aclimatación si se expresa los resultados como incrementos de salinidad (ΔS_{lim} varía entre 16 y 18 psu) mientras que es muy diferente si se expresa como valores absolutos (S_{lim} varía entre 43 y 51 psu).

2.- Considerando la variabilidad de la salinidad de referencia o control a la que están aclimatados los organismos en los distintos estudios, así como de las salinidades de cada tratamiento, para poder comparar el conjunto de resultados resumidos en la tabla del apartado anterior, se ha considerado el incremento de salinidad de cada tratamiento respecto a la salinidad del medio o salinidad control.

Además, según acabamos de recalcar en el párrafo anterior, el tratamiento de los valores de salinidad como valores absolutos en lugar incrementos respecto al medio receptor podría dar



CEDEX

lugar a falsos resultados, ya que el umbral de tolerancia tolerado por una determinada especie va a depender de la diferencia de salinidad entre ambos medios.

3.- En los gráficos de las siguientes figuras se representan las repuestas obtenidas para las variables “tasa de supervivencia” (total – tasa de mortalidad cuando es esta variable la que se facilita en el artículo) y “tasa de fertilidad” para cada especie en función del incremento de salinidad.

- La tasa de supervivencia, independientemente de que se trate de embriones, larvas u organismos adultos (con excepción de *A. Japonicus* [55]) no disminuye con incrementos de salinidad entre 6 y 8 psu (Figura 12). Con incrementos algo mayores (entre 8 y 10 psu) se produce una reducción importante en la supervivencia de algunas especies como *H. erythrogramma* [32] y *P.lividus* [35] (reducción del 100% y del 73 % respectivamente) mientras que en otras (*D.excentricus* [34]) se mantiene una tasa de supervivencia del 100% incluso con incrementos mayores de 10 psu (15 psu). En el caso del pepino de mar *A.japonicus* [55] con incrementos de salinidad de 5 psu la tasa de supervivencia se reduce un 30% respecto a la supervivencia en el control. Esta especie, aunque de gran interés económico por su cultivo en Asia, no se distribuye por las costas españolas.

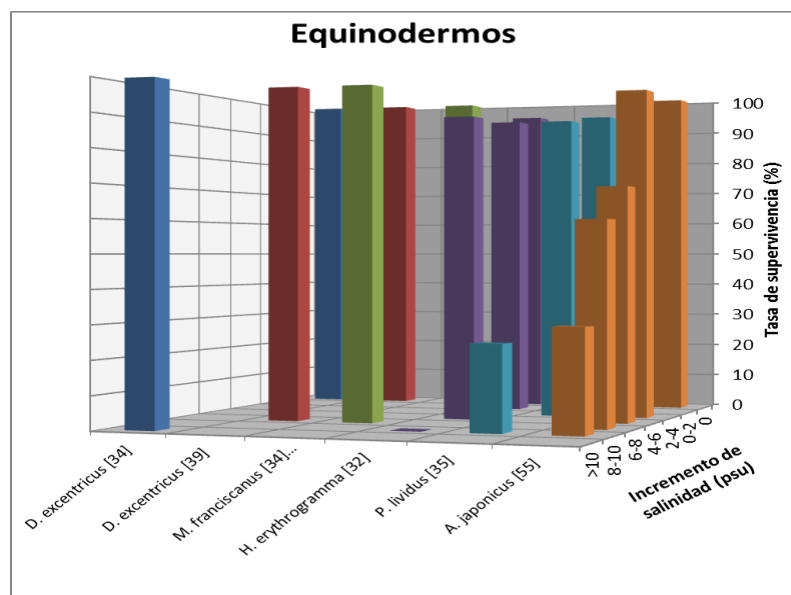


Figura 12: Tasa de supervivencia de distintas especies de equinodermos en función del incremento de salinidad del tratamiento respecto a la salinidad control agrupado por intervalos.

- En cuanto a la fertilización de huevos, no se observaron reducciones significativas (reducción del 8 % para *P.lividus* [35]) con incrementos de salinidad de 10 psu para las especies analizadas (Figura 13).

4.- De las especies representadas en estos gráficos además de *A. japonicus* mencionada anteriormente, dos de ellas tiene un interés económico especial, ya que se utilizan para consumo humano; *P.lividus* y *M. franciscanus* (ambas erizos de mar). En esta última, incrementos de salinidad entre 6 y 8 psu no afectan ni a la tasa de fertilización ni a la de supervivencia respectivamente mientras que en el caso de *P.lividus* sólo sabemos que incrementos de 5 psu no parecen afectar a ninguna de estas dos variables mientras que el

siguiente incremento de salinidad del que se disponen datos, incrementos de 10 psu se reduce de forma importante la tasa de supervivencia.

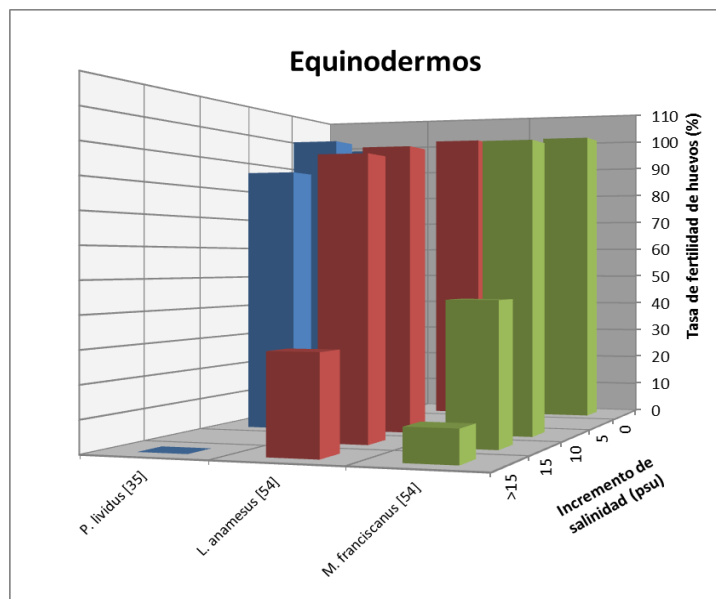


Figura 13: Tasa de fertilización de huevos de distintas especies de equinodermos en función del incremento de salinidad del tratamiento respecto a la salinidad control.

Por todo lo mencionado en los puntos anteriores se concluye que de forma generalizada y teniendo en cuenta las diferencias entre especies así como las limitaciones de la metodología de trabajo que estamos aplicando, que el incremento de salinidad máximo tolerado para la supervivencia de embriones, larvas o adultos de equinodermos es de 6 psu mientras que para la fertilidad de embriones este incremento asciende a 8 - 10 psu.

5.3 Peces

I. Antecedentes

Los peces son animales vertebrados con respiración branquial y sangre fría. Se clasifican en tres grandes grupos; Agnatos o peces sin mandíbulas (lampreas), Condriictios o peces cartilagosos (rayas y tiburones) y Osteíctios o peces óseos. En este apartado nos referiremos exclusivamente a este último grupo.

De formas muy variadas, sobre todo en las especies marinas. La más usual es la forma fusiforme, es decir, a la manera de un huso alargado, algunos de ellos comprimidos lateralmente. También tiene importancia un grupo de peces comprimidos dorso-ventralmente o pleuronectiformes (conocidos como peces planos).

Con excepción de los peces planos que habitan sobre o enterrados en los fondos marinos (peces bentónicos) el resto (peces pelágicos) pertenecen la agrupación del necton. El desplazamiento de estos animales se realiza mediante el movimiento ondulatorio que se ve favorecido por la forma fusiforme del cuerpo junto con el desarrollo de las aletas dorsales. Esta capacidad de movimiento de los peces pelágicos adultos supone a priori menor probabilidad de ser afectados por un vertido de salmuera.

Sin embargo, los huevos expulsados por las hembras en la puesta, tienen mayor densidad que el agua de mar y por tanto se depositan en el fondo del lecho o son adheridos a la vegetación.



Las larvas, por otro lado, aunque morfológicamente muy diferentes de los adultos se enfrentan a los mismos retos para la supervivencia que los adultos aunque estos desafíos son aún mayores debido a su diminuta talla e inmaduro desarrollo, lo que les hace más vulnerables a alteración del hábitat, cambios en la calidad del agua y presencia de contaminantes explicando en cierta medida las elevadísimas tasas de mortalidad (>95 %) durante la vida larval.

Tanto los huevos como las larvas de peces son más comunes en zonas litorales cercanas a costa y con escasa profundidad. Los adultos independientemente de que sean pelágicos o bentónicos habitan en la zona litoral (influenciada por los cambios de nivel del agua debido a las mareas y mayores variaciones en las condiciones fisicoquímicas), en la nerítica (muy rica en especies bentónicas con un gran valor comercial) y en la oceánica (con mayor abundancia de especies pelágicas, algunas de ellas también con especial interés comercial y condiciones ambientales muy estables). Incluso los peces habitan en zonas de estuarios dominadas por fuertes fluctuaciones en la salinidad.

Los peces teleósteos marinos son organismos osmoreguladores, es decir, mantienen su presión osmótica a pesar de los cambios ambientales, con una estrategia reguladora hiposmótica (mantienen los fluidos corporales con una concentración de sales mucho menor que el medio marino en el que habitan). En cualquier caso, aunque estos organismos sean capaces en mayor o menor medida (organismos estenohalinos o eurihalinos) de hacer frente a variaciones de la salinidad ambiental, estos cambios suponen situaciones de estrés osmótico cuyos procesos de regulación requieren mucha energía.

Por eso, en el ámbito de la acuicultura, la salinidad constituye una variable fundamental susceptible de ser modulada. Se buscan aquellas salinidades ambientales que disminuyan las necesidades energéticas derivadas de los procesos osmoreguladores favoreciendo otros de mayor importancia para la producción en acuicultura como el crecimiento (Figura 14).

Species	Tolerance	Best growth	Reference
<i>Pomatomus saltatrix</i> (Bluefish)	= (5 and 25 psu)		Buckel et al. (1995)
<i>Micropogonias furnieri</i> (Croaker)	+ (10-30)	17-19	Aristizabal Abud (1992)
<i>Sparus sarba</i> (Sea bream)	+ (0-35)	15	Woo and Kelly (1995)
<i>Oreochromis niloticus</i> (Tilapia)	+ (0-16)	8	Likongwe et al. (1996)
<i>Oreochromis spilurus</i> Tilapia	= (0-37)		Jonassen et al. (1997)
<i>Oreochromis aureus</i> (Tilapia)	= (0-27)		Chervinsky and Yashouv (1971)
<i>O. mossambicus</i> (Tilapia)	120 psu	17.5	Suresh and Lin (1992)
<i>O. niloticus</i> (Tilapia)	36	5-10	Suresh and Lin (1992)
<i>O. aureus</i> (Tilapia)	40	10-15	Suresh and Lin (1992)
<i>O. spilurus</i> (Tilapia)	36	0	Suresh and Lin (1992)
Hybrid Red (Tilapia)	35	30-35	Suresh and Lin (1992)
<i>Morone chrysops</i> (White bass)	+ 0-20 psu	0-12	Heyward et al. (1995)
<i>Chanos chanos</i> (Milkfish)	+ 0-55	55	Swanson (1998)
<i>Chanos chanos</i> (Milkfish)	+ 0-35	0	Alava (1998)
<i>Trinectes maculatus</i> (Hogchoker)	+ 0-30	30	Peters and Boyd (1972)
<i>Trinectes maculatus</i> (Hogchoker)	+ 0-15		Peterson-Curtis (1997)
<i>Gadus morhua</i> (Cod)	+ 14 and 28 psu	14	Dutil et al. (1997)
<i>Mugil sp.</i> (Mullet)	+ 3-24	17	Peterson et al. (1999b)
<i>Chelon labrosus</i> (Grey mullet)	= (5-25)		Cardona and Castelló-Orvay (1997)
<i>Salaria fluviatilis</i> (Blenny)	+ 0-35	12	Plaut (1999)
<i>Micropogonias undulatus</i> (Atlantic croaker)	+ 0-20	5	Peterson et al. (1999a)
<i>Sparus aurata</i> (Gilthead seabream)	+ 8-38	28	Conides et al. (1997)
<i>Dicentrarchus labrax</i> (European seabass)	+ 0-35		10-35 Bœuf et al. (unpublished)
<i>Lutjanus argentiventris</i> (Amarillo snapper)	+ 3-24 psu	30	Serrano-Pinto and Caravea-Patiño (1990)
<i>Salmo salar</i> (Atlantic salmon)	+ 0-35	22-28	Bœuf et al. (unpublished)
<i>Oncorhynchus mykiss</i> (Rainbow trout)	= (0 and 34)		Bœuf et al. (unpublished)
<i>Oncorhynchus mykiss</i> (Rainbow trout)	+ (0-16)	0	Morgan and Iwama (1991)
<i>Oncorhynchus keta</i> (Coho salmon)	+ 0-35	22-28	Bœuf et al. (unpublished)
<i>Salvelinus alpinus</i> (Arctic charr)	+ 0-35	0-20	Arnesen et al. (1993)
<i>Scophthalmus maximus</i> (Turbot)	+ 0-35	10-19	Gaumet et al. (1995)

Figura 14; Límites de tolerancia y salinidad óptima para el cultivo de distintas especies de peces marinos.



Por este motivo, junto con la facilidad de mantener en condiciones controladas los estanques de acuicultura y la reducción de la transmisión de enfermedades con menores salinidades, la mayoría de los estudios publicados sobre la influencia de la salinidad en los peces tienen como objetivo determinar las condiciones de mínima salinidad óptima para el cultivo de distintas especies y por tanto no son de utilidad en este trabajo. En los siguientes apartados se describen los artículos publicados en los que se hace mención a límite máximo o incremento máximo de salinidad tolerado.

II. Bibliografía revisada

En este apartado se enumera la bibliografía ordenada por año de publicación. No se incluyen las referencias bibliográficas que por analizar distintas especies ya han sido enumeradas en el apartado correspondiente de puntos anteriores.

- [56] Holliday, F.G.T., and Blaxter, J.H.S. (1960) The effects of salinity on the developing eggs and larvae of the herring. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* **39**, 591-603
- [57] Lee, C.S., Hu, F., and Hirano, R. (1981) Salinity tolerance of fertilized-eggs and larval survival in the fish *Sillago-sihama*. *Marine Ecology-Progress Series* **4**.
- [58] Swanson, C. (1998) Interactive effects of salinity on metabolic rate, activity, growth and osmoregulation in the euryhaline milkfish (*Chanos chanos*). *Journal of Experimental Biology* **201**.
- [59] Shi, Z., Huang, X., Fu, R., Wang, H., Luo, H., Chen, B., Liu, M., and Zhang, D. (2008) Salinity stress on embryos and early larval stages of the pomfret *Pampus punctatissimus*. *Aquaculture* **275**.
- [60] Zhang, G., Shi, Y., Zhu, Y., Liu, J., and Zang, W. (2010) Effects of salinity on embryos and larvae of tawny puffer *Takifugu flavidus*. *Aquaculture* **302**.
- [61] Abdo de la Parra, M.I., Rodríguez-Ibarra, L.E., Velasco-Blanco, G., García-Aguilar, N., and González-Rodríguez, B. (2011) Evaluación del efecto de la salinidad sobre la incubación de huevos y eclosión de larvas del pargo famenco (*Lutjanus guttatus*) *Ciencia Pesquera* **19**, 29-34.

III. Descripción de los trabajos y resumen de resultados

En la tabla de las páginas siguientes se recogen los principales resultados obtenidos en estos trabajos. La mayoría de las especies encontradas son de especial interés económico ya que son especies de consumo humano muchas de ellas cultivadas y otras cuyo cultivo está en fase de estudio.

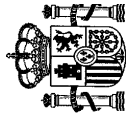
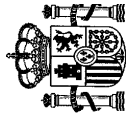


Tabla 9: Resumen de resultados del efecto del incremento de salinidad en peces

Referencia	Nombre común	Especie	Salinidad referencia (psu)	Salinidad estudiada (psu)	Variable estudiada	Respuesta (Rs)	Zona de estudio	Distribución de la especie	Interés comercial	Periodo de exposición (días)	Observaciones
Holliday et al, 1960 [56]	Arenque común	<i>Clupea harengus</i>	32	42	Tasa de supervivencia de embriones (% de huevos eclosionados)	75 en el control (a 33 psu)	Escocia	Atlántico y Pacífico Norte. Presente en litoral español	Consumo humano y en piensos de peces.	2	Exposición directa a los tratamientos de salinidad. Analiza otros descriptores como la concentración osmótica y fluidos corporales. Especie sobreexplotada
				45		60 en el tratamiento de salinidad					
				50		75 en el tratamiento de salinidad					
				52	54 en el tratamiento de salinidad	7					
			33.6	54	Tasa de supervivencia de larvas (% del total)	>50 en el control >50 en el tratamiento de salinidad >50 en el control <50 en el tratamiento de salinidad					
Citron, 1970 [42]	Arenque de Venezuela	<i>Jenkinsia sp.</i>	36.87	57	Tiempo hasta muerte (min)	Muerte de los organismos después de 20 min de inmersión	Puerto Rico	Desconocida	Cultivo como cebo para otras especies	20 min	Estudio realizado sobre un vertido de una salina al mar por accidente en Puerto Rico. Pez de aguas tropicales
Lee et al, 1981 [57]	"smelt-whitings"	<i>Sillago sihama</i>	28.7	30.7	Tasa de supervivencia de embriones (desde blástula) (%)	100 en el control	Hamana Lake, Japón	Indo-Pacífico y Este del Mediterráneo	Consumo humano. Especie cultivada	6	Exposición directa a los tratamientos de salinidad de embriones desde distintos estadios del desarrollo; blastómero, blástula o embrión pigmentado
				35.3		100 en el tratamiento de salinidad					
				41		100 en el control					
				43.5		95 en el tratamiento de salinidad					
				58		100 en el control					
				32.9	90 en el tratamiento de salinidad						
					100 en el control	42.1 en el control					
					34.1 en el tratamiento de salinidad						
					42.1 en el control						
					5.3 en el tratamiento de salinidad						
	42.1 en el control										
	2.5 en el tratamiento de salinidad										
	42.1 en el control										
	0 en el tratamiento de salinidad										
Iso et al, 1994 [26]	Dorada Japonesa	<i>Pagrus Major</i>	35	45	Tasa de mortalidad juveniles (% del total)	0 en el control	Futssu, Japón	Pacífico	Consumo humano. Especie cultivada	2	Estudio específico del efecto de la salmuera de plantas desaladoras. Exposición directa a los tratamientos de salinidad
				50		0 en el tratamiento de salinidad					
				60		Oscurcimiento del cuerpo					
				70		0 en el control					
						25 en el tratamiento de salinidad					
					0 en el control						
					50 en el tratamiento de salinidad						
					0 en el control						
					100 en el tratamiento de salinidad a 1h						
					2 en el control						
	0 en el tratamiento de salinidad										
	2 en el control										
	10 en el tratamiento de salinidad										
	2 en el control										
	100 en el tratamiento de salinidad										
	2 en el control										
	100 en el tratamiento de salinidad										

Referencia	Nombre común	Especie	Salinidad referencia (psu)	Salinidad estudiada (psu)	Variable estudiada	Respuesta (Rs)	Zona de estudio	Distribución de la especie	Interés comercial	Periodo de exposición (días)	Observaciones	
Iso et al, 1994 [26]	Lenguado Jaspado	<i>Pleuronectes yokohamae</i>	31	45	Tasa de supervivencia de embriones (%huevo eclosionados)	100 en el control	Futssu, Japón	Desconocida	Consumo humano. Especie cultivada	6	Test llevado a cabo con huevos y larvas durante 144 h con exposición directa. Estudio específico del efecto de la salmuera de plantas desaladoras	
				60		100 en el tratamiento de salinidad						
				70		95 en el tratamiento de salinidad						
Swanson et al, 1998 [58]	Pez de leche	<i>Chanos chanos</i>	35	55	Tasa de crecimiento (% día ⁻¹)	2.36 en el control	Filipinas					
				60.00		3.35 en el tratamiento de salinidad						
Pillard et al, 1999 [48]	Plateadito salado	<i>Meridia beryllina</i>	25	35.00	Tasa de supervivencia de larvas (% del total)	100 en el control	Golfo de Méjico	Atlántico Noroeste (EEU y Golfo de Méjico)	Sin usos comerciales conocidos	2	Exposición directa a los tratamientos de salinidad tras cultivo a 25 psu. Datos obtenidos a partir de gráficas	
				40.00		100 en el tratamiento de salinidad						
				45.00		100 en el tratamiento de salinidad						
				47.00		90 en el tratamiento de salinidad						
						100 en el control						
						100 en el tratamiento de salinidad						
						100 en el control						
						100 en el tratamiento de salinidad						
						100 en el control						
						50 en el tratamiento de salinidad (LC50)						
Le Page et al, 2005 [29] y Vouchkov et al, 2009 [34]	Lenguado californiano	<i>Paralichthys californicus</i>	33.5	36	Tasa de ganancia de peso (%). Test biométrico	96.9 en el control	Carlsbad desalination plant, California	Pacífico Este (de Alaska a Ecuador)	Consumo humano. Especie cultivada		Exposición directa a los tratamientos de salinidad. Estudio específico para determinar la afectación de una planta desaladora. Realizan un estudio previo de la zona de vertido concluyendo que la salinidad máxima encontrada es de 36 psu y por esos realizan el estudio con esa salinidad. Concluyen que no hay afectación de la salmuera	
												105 en el control
												114 en el tratamiento de salinidad
												113.5 en el control
												106.8 en el tratamiento de salinidad
												107 en el control
Hydrobiolog y Pty Ltd, 2006 [32]	Jurel de Castilla	<i>Seriola lalandi</i>	40	48.14	Supervivencia de larvas	100% supervivencia en 24 h	Australia	Cosmopolita (mares templados)	Consumo humano. Especie cultivada	4	Apéndice O.10.2 Del Estudio de Impacto ambiental del proyecto Olmipyc Dam Extension [30].	
												68 en el control
												60 en el tratamiento de salinidad
Shi, Z. et al, 2008 [59]	Managatsuo (Palometa)	<i>Pampus punctatissimus</i>	30	50.00	Tasa de supervivencia de embriones (% de huevos eclosionados)	100% supervivencia en 24 h	China	Pacífico Noroeste: Sur de Japón y Este de China	Consumo humano. Cultivo de la especie en estudio	30 min	Sólo se dispone del Abstract de este artículo. Datos obtenidos a partir de gráficas. Analiza otros descriptores que no se incluyen porque no se dispone de los datos.	
												68 en el control
												68 en el tratamiento de salinidad
												68 en el control
												10 en el tratamiento de salinidad



Referencia	Nombre común	Especie	Salinidad referencia (psu)	Salinidad estudiada (psu)	Variable estudiada	Respuesta (Rs)	Zona de estudio	Distribución de la especie	Interés comercial	Periodo de exposición (días)	Observaciones	
Geotechnica I services, 2008 [33]	Dorada	<i>Pagrus auratus (Sparus aurata)</i>	39.9	42.38	Tamaño de larvas (mm)	Aumento de un 45% en el control	Australia	Cosmopolita. Presente en Costa Atlántica y Mediterráneo español	Consumo humano. Especie cultivada	7	Apéndice O.10.2 Del Estudio de Impacto ambiental del proyecto Olimpic Dam Extension [30]. Estudio realizado para determinar el impacto de dicha desaladora. A partir de los resultados de este estudio determinan la dilución necesaria para proteger el 95% de las especies presentes en la zona de vertido	
				44.89		Aumento de un 45% en el control						
				49.84		Aumento de un 42% en el tratamiento de salinidad						
				59.79		Aumento de un 45% en el control						
				44.74		Mortalidad de todos los organismos						NOEC (Sin influencia sobre el crecimiento)
				49.54								LOEC (min. concentración con reducción)
				48.36								EC10 (Concentración con 10% de reducción)
				51.37								EC50 (Concentración con 50% de reducción)
				37.97		Tamaño de larvas (mm)						Aumento de un 13% en el control
				44.89								Aumento de un 8% en el tratamiento de salinidad
				46.33								Aumento de un 13% en el control
				57.46								Reducción de un 1% en el tratamiento de salinidad
36.41	Índices estadísticos (crecimiento de larvas)	Mortalidad de todos los organismos										
37.76		NOEC (Sin influencia sobre el crecimiento)										
40.15		LOEC (min. concentración con reducción)										
42.22		EC10 (Concentración con 10% de reducción)										
42.38	Tamaño de larvas (mm)	Aumento de un 20% en el control										
44.89		Aumento de un 13% en el tratamiento de salinidad										
49.84		Aumento de un 20% en el control										
59.79		Aumento de un 12% en el tratamiento de salinidad										
<40.52	Índices estadísticos (crecimiento de larvas)	Mortalidad de todos los organismos										
40.52		NOEC (Sin influencia sobre el crecimiento)										
44.32		LOEC (min. concentración con reducción)										
45.92		EC10 (Concentración con 10% de reducción)										
35	Tasa de supervivencia de embriones (% de huevos eclosionados)	82 en el control										
40		85 en el tratamiento de salinidad										
45		82 en el control										
35	Viabilidad de larvas (%)	84 en el tratamiento de salinidad										
40		95 en el control										
45		95 en el tratamiento de salinidad										
40	Tasa de supervivencia de embriones (% de huevos eclosionados)	76 en el control										
45		71 en el tratamiento de salinidad										
Genyu Zhang et al, 2010 [60]	Fugu	<i>Takifugu flavidus</i>	30	35	Tasa de supervivencia de embriones (% de huevos eclosionados)	82 en el control	China	Mares de China y Japón	Consumo Humano. Especie cultivada	1	Sólo se dispone de Abstract y las graficas de este artículo. Datos obtenidos a partir de gráficas.	
				40		85 en el tratamiento de salinidad						
Abdo et al, 2011 [61]	Pargo flamenco	<i>Lutjanus guttatus</i>	35	40	Tasa de supervivencia de embriones (% de huevos eclosionados)	76 en el control	Méjico	Pacífico Este (de Golfo de California a Perú)	Consumo humano. Cultivo de la especie en estudio		Exposición directa a los tratamientos de salinidad de huevos recién fertilizados	
				45		76 en el control						

IV. Análisis de resultados y conclusiones

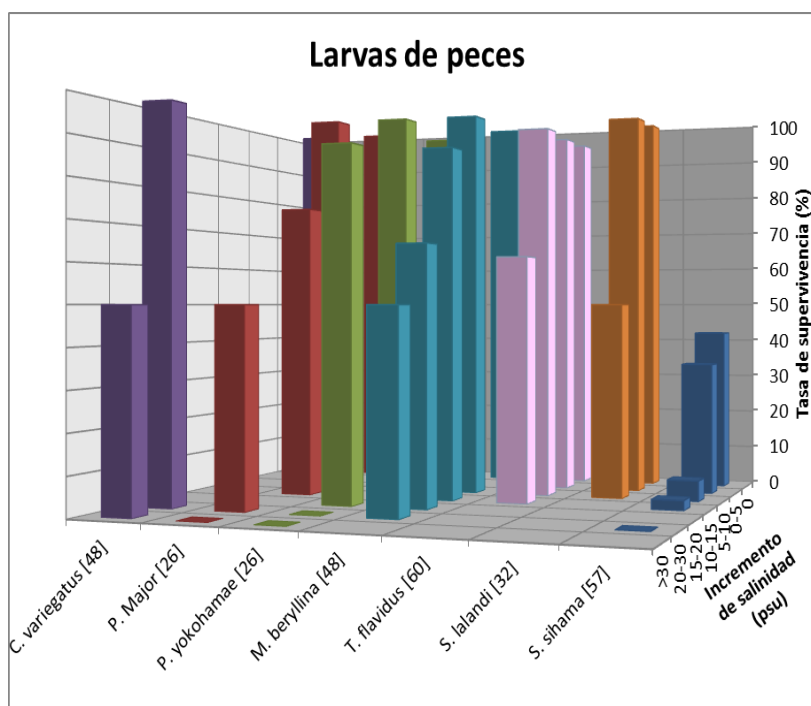
A la vista de estos resultados de la tabla de las páginas anteriores se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1.- A diferencia de lo observado para los invertebrados marinos analizados en los apartados anteriores en el caso de los peces se aprecia una mayor homogeneidad en cuanto a las variables estudiadas, la edad de los organismos, o la manera de representar los resultados. No obstante siguen existiendo importantes diferencias en las salinidades consideradas como control (recordamos que para este apartado se han tenido en cuenta especies distribuidas por todos los mares y océanos), el periodo y tipo de exposición y esencialmente de los resultados en sí mismos.

Fundamentalmente se analiza la tasa de mortalidad/supervivencia de embriones (partir del porcentaje de huevos fecundados que eclosionan) y/o la tasa mortalidad/supervivencia de larvas: En algún caso se analiza también la tasa de fertilidad de huevos sometidos a distintos tratamientos de salinidad, la tasa de crecimiento en tamaño de las larvas y la tasa de ganancia de peso de organismos adultos. Algunos autores proporcionan además el índice estadístico de toxicidad para la variable estudiada.

2.- Considerando la variabilidad de la salinidad de referencia o control a la que están aclimatados los organismos en los distintos estudios, así como de las salinidades de cada tratamiento, para poder comparar el conjunto de resultados resumidos en la tabla del apartado anterior, se ha considerado el incremento de salinidad de cada tratamiento respecto a la salinidad del medio o salinidad control.

3.- En los gráficos de la Figura 15 se representan las repuestas obtenidas para las variables "tasa de supervivencia" (total – tasa de mortalidad cuando es esta variable la que se facilita en el artículo) para embriones y larvas de distintas especies en función del incremento de salinidad agrupada por intervalos.



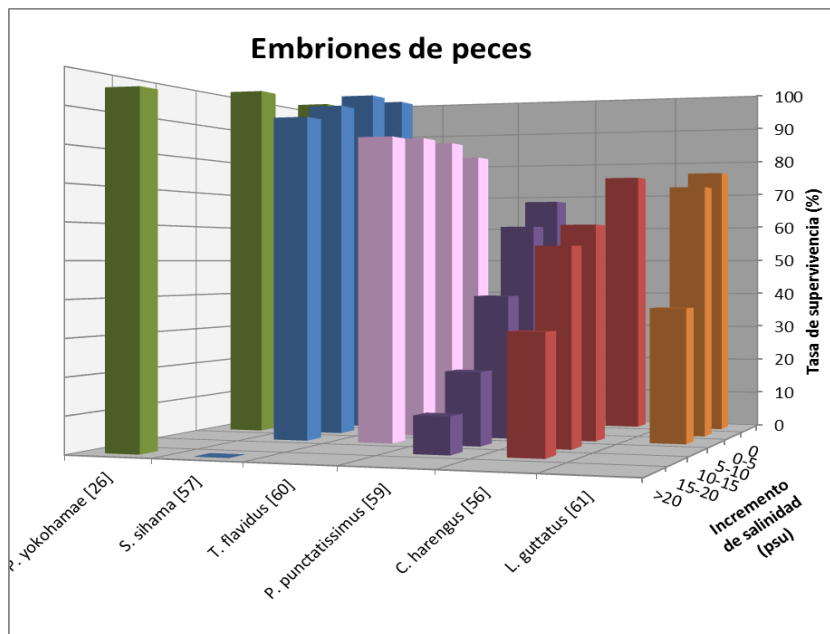


Figura 15: Tasa de supervivencia de embriones y de larvas de distintas especies de peces en función del incremento de salinidad del tratamiento respecto a la salinidad control agrupado por intervalos.

Según estos gráficos, independientemente de que se trate de embriones o de larvas, sólo en algunas de las especies estudiadas se reduce la tasa de supervivencia con incrementos de salinidad de hasta 5 psu. Se trata de embriones de *P. punctatissimus* [59] y de *L. guttatus* [61] y larvas de *S. shilama* [57] con una reducción en cualquier caso algo menor del 10% en relación a la supervivencia en el control.

Otras especies, con la excepción de embriones *C. harengus* [56] cuya supervivencia se ve reducida en torno a un 20% en relación con el control a incrementos de salinidad de 10 psu, son capaces de tolerar estos incrementos sin que por ello se vea afectada la supervivencia. Algunas (*P. yokohamae* [26], *T. flavidus* [60] o *C. variegatus* [48]) incluso sobreviven con incrementos de salinidad superiores a 15 psu.

3.- Otras variables menos severas que analizan efectos crónicos del incremento de salinidad como es la tasa de crecimiento en tamaño han sido analizadas por Geotechnical services, 2008 [33]) o en ganancia de peso por Le Pagè et al, 2005 [29] y Voutchkov et al, 2009 [34]. Para esta última variable se determina que incrementos de salinidad de 2.5 psu respecto a la salinidad de aclimatación o control no produce ninguna diferencia significativa en la ganancia de peso. En la Figura 16 se representa los índices estadísticos estimados para el crecimiento de larvas de distintas especies de peces. De nuevo, no son muchos los datos disponibles pero puede observarse como el incremento de salinidad al que no se observa ninguna influencia sobre esta variable es mucho menor que para la tasa de supervivencia. Si por el contrario se considera la concentración a la que el tamaño de las larvas se reduce en un 10% en relación con el tamaño en el control (EC10%), se puede asumir un incremento de salinidad próximo a 5 psu.

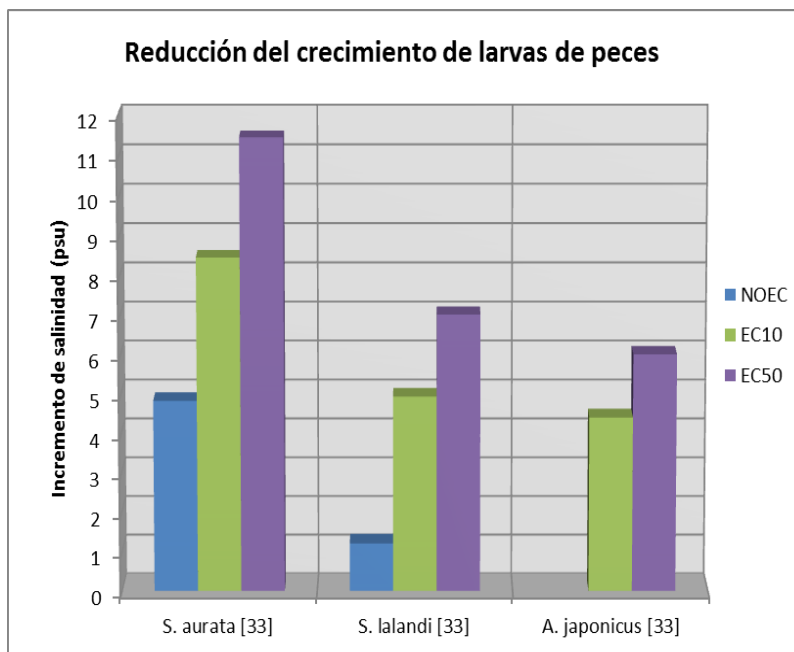


Figura 16: Índices estadísticos para reducción del tamaño de larvas de distintas especies de peces en función del incremento de salinidad

Por tanto, a la vista de estos resultados, podemos concluir que larvas y embriones de distintas especies de peces son capaces de tolerar mayores incrementos de salinidad que los invertebrados bentónicos y por tanto son menos vulnerables a la afección de un vertido de salmuera. La tasa de supervivencia no se reduce de manera significativa hasta incrementos de salinidad superiores a 10 psu para la mayoría de las especies. Este límite, se reduce a un incremento máximo de 5 psu cuando se analiza la tasa de crecimiento aunque este último dato ha sido obtenido a partir de un reducido número de especies.

5.4 Algas marinas

I. Antecedentes

En la actualidad las algas se engloban dentro del reino de los protistas. Son un grupo de gran diversidad, desde estructuras unicelulares microscópicas hasta organismos pluricelulares de gran tamaño. Hay algas en todos los ambientes acuáticos donde existe luz, tanto de agua dulce como de agua salada, unas veces en el plancton otras en el bentos incluso se encuentran en ambientes terrestres húmedos. Este apartado se centra únicamente en algas pluricelulares o algas superiores (macrófitos) que viven fijadas al sustrato.

Los grupos más importantes entre los que se dividen estos organismos, se diferencian principalmente por el tipo de pigmento predominante. Algas verdes o **Clorofíceas**; su color es debido a que tienen clorofila (verde), algas pardas o **Feofíceas**: el pigmento que utilizan para realizar la fotosíntesis es de color marrón amarillento y algas rojas o **Rodofíceas**: El pigmento que utilizan para hacer la fotosíntesis es de color rojo.

Pero además de establecer el color de las algas y su clasificación, el predominio de uno u otro pigmento está relacionado con la captura de la energía luminosa y determinará también la distribución batimétrica en función de las radiaciones disponibles. Esto es, que los grandes grupos de algas se distribuyen en profundidad en función de las radiaciones presentes. Así, en superficie predominan las algas verdes, más abajo las algas pardas y por fin, las algas rojas en zonas profundas.



CEDEX

Sobre la distribución geográfica de las algas puede afirmarse que son cosmopolitas, es decir, que viven en todos los climas, se encuentran aclimatadas a las más diversas situaciones ambientales. Existe en la literatura referencias que indican la presencia de algas en zonas mediolitorales donde toleran incluso la emersión durante un periodo de tiempo determinado y pueden soportar variaciones importantes de salinidad, al igual que las algas de diversos ambientes tales como estuarios, manglares y lagunas costeras. Algas típicas de ambientes más estables de la zona infralitoral por el contrario son más sensibles a las variaciones de salinidad.

No obstante, la mayoría de las algas marinas tienen una considerable tolerancia a la salinidad. Los cambios en la salinidad ambiental dan lugar a un flujo inmediato de agua acorde con el gradiente osmótico que va acompañado de una aclimatación osmótica a partir del ajuste de las concentraciones de los solutos intracelulares. Como resultado de estos procesos la presión de turgencia se mantiene más o menos constante y el volumen celular se recupera. En cualquier caso este parámetro juega un papel determinante sobre el crecimiento, la morfología y otras características de las algas. La fotosíntesis por ejemplo, logra su máxima eficiencia a un determinado nivel de salinidad; al igual que la respiración y el desarrollo. Variaciones extremas en este indicador pueden causar pérdidas importantes en el funcionamiento o en la eficiencia de algunos procesos vitales de estos vegetales y en algunos casos provocan su muerte.

Además, los procesos reproductivos en muchas especies de algas dependen de las condiciones del ambiente. Factores como la desecación, el movimiento del agua, la luz y la temperatura pueden provocar la liberación de esporas. Algunos estudios han encontrado que la salinidad puede afectar la poliespermia y viabilidad de los gametos. La germinación de las esporas también puede necesitar de condiciones ambientales de salinidad apropiadas.

Por otro lado, conviene mencionar que las algas marinas constituyen un recurso renovable de mucho valor para el hombre, cuyo uso se conoce desde hace más de 5 000 años. Las macroalgas no solo se destacan por su empleo directo, sino por las sustancias que se extraen a partir de ellas. La cantidad de macroalgas procesadas anualmente en todo el mundo es de 14 millones de toneladas en peso fresco (Anuario FAO, 2006). El 50% de la producción se utiliza en la alimentación humana y para garantizar su demanda se ha desarrollado una fuerte industria de maricultivo.

Además, Las macroalgas tienen múltiples aplicaciones en la elaboración de fertilizantes y piensos para aves y ganado, en la industria del agar, así como en la obtención de ácido alginico, carragenina y yodo. Dentro de la industria farmacéutica y cosmética actual una amplia gama de productos utilizan compuestos naturales extraídos de las algas. Los niveles de lípidos y carbohidratos, así como las vitaminas del complejo B y vitamina C, los minerales, la fibra dietética y los oligoelementos, se relacionan con las condiciones ambientales donde las mismas se desarrollan tanto en el medio natural o en cultivo y por tanto numerosos estudios están orientado a determinar las condiciones de salinidad, luz y temperatura óptimas para el desarrollo de las algas.

II. Bibliografía revisada

En este apartado se enumera la bibliografía ordenada por año de publicación. Se han incluido referencias a artículos que no analizan la influencia de ninguna especie en concreto pero que han sido revisadas para el análisis general de la tolerancia de las algas a la salinidad ([62]). No se incluyen las referencias bibliográficas que por analizar distintas especies ya han sido enumeradas en el apartado correspondiente de puntos anteriores:



- [63] Clancy, D.M.W.a.C.W. (1937) The Effect of Salinity upon the Growth of Eggs of *Fucus furcatus*. Biological Bulletin **73**, 552-556.
- [64] Bird, N.L., Chen, L.C.M., and McLachlan, J. (1979) Effects of temperature, light and salinity on growth in culture of *Chondrus crispus*, *Furcellaria lumbricalis*, *Gracilaria tikvahiae* (Gigartinales, Rhodophyta), and *Fucus serratus* (Fucales, Phaeophyta). Botanica Marina **22**, 521-527.
- [65] Khaleafa, A., and Shaalan, S. (1979-12-25) The interaction of salinity and temperature on the growth of *Caulerpa prolifera* (Foersk.) lamouroux.
- [66] Macler, B.A. (1988) Salinity Effects on Photosynthesis, Carbon Allocation, and Nitrogen Assimilation in the Red Alga, *Gelidium coulteri*. Plant Physiology **88**, 690-694.
- [62] Kirst, G.O. (1990) Salinity tolerance of eukaryotic marine algae. Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. **41**, 21-53.
- [67] Back, S., Collins, J.C., and Russell, G. (1992) Effects of salinity on growth of Baltic and Atlantic *Fucus vesiculosus*. British Phycological Journal **27**, 39-47.
- [68] Einav, R., Breckle, S. and Beer, S. (1995) Ecophysiological adaptation strategies of some intertidal marine macroalgae of the Israeli Mediterranean coast. Marine Ecology Progress Series **125**, 219-228.
- [69] Barry, G.C., and Woelkerling Wm, J. (1995) Non-geniculate Species of Corallinaceae (Corallinales, Rhodophyta) in Shark Bay, Western Australia: Biodiversity, Salinity Tolerances and Biogeographic Affinities. In: Botanica Marina, p. 135.
- [70] Wong, S.L., and Chang, J. (2000) Salinity and light effects on growth, photosynthesis, and respiration of *Grateloupia filicina* (Rhodophyta). Aquaculture **182**, 387-395.
- [71] Kaliaperumal, N., Ezhilvalavan, R., and Ramalingam, J.R. (2001) Studies on salinity tolerance and acclimatization of some commercially important seaweeds. Seaweed Research and Utilisation **23**, 47-53.
- [72] Raikar, S.V., Lima, M., and Fujita, Y. (2001) Effect of temperature, salinity and light intensity on the growth of *Gracilaria* spp. (Gracilariales, Rhodophyta) from Japan, Malaysia and India. Indian Journal of Geo-Marine Sciences (IJMS) **30**, 98-104.
- [73] Wilson, S., Blake, C., Berges, J.A., and Maggs, C.A. (2004) Environmental tolerances of free-living coralline algae (maerl): implications for European marine conservation. Biological Conservation **120**, 279-289.
- [74] Mansilla, A., Palacios, M., and Aguilar, S. (2004) Efecto de la salinidad en el desarrollo inicial de *Sarcothalia crispata* (bory) Leister (Rhodophyta, Gigartinales) bajo condiciones de laboratorio. Anales Instituto Patagonia (Chile) **32**, 13-233.
- [75] Jayasankar, R. (2005) Effect of salinity on physiology of *Gracilaria* spp. (Gigartinales, Rhodophyta). Seaweed Research and Utilisation **27**, 19-24.



- [76] Eggert, A., Nitschke, U., West, J.A., Michalik, D., and Karsten, U. (2007) Acclimation of the intertidal red alga *Bangiopsis subsimplex* (Stylonematophyceae) to salinity changes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **343**.
- [77] Martínez-Daranas, B.R. (2007) Características y estado de conservación de los pastos marinos en áreas de interés del archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba. Instituto De Oceanología: Facultad de Biología, Universidad de la Habana.
- [78] Nygard, C.A., and Dring, M.J. (2008) Influence of salinity, temperature, dissolved inorganic carbon and nutrient concentration on the photosynthesis and growth of *Fucus vesiculosus* from the Baltic and Irish Seas. *European Journal of Phycology* **43**, 253-262.
- [79] Steyn, P.P. (2009) The Ecophysiology of *Gelidium Pristoides* (Turner) Kuetzing: Towards Commercial Cultivation. Faculty of Science at the Nelson Mandela Metropolitan University.
- [80] Choi, T.S., Kang, E.J., Kim, J.H., and Kim, K.Y. (2010) Effect of salinity on growth and nutrient uptake of *Ulva pertusa* (Chlorophyta) from an eelgrass bed. *ALGAE* **25**, 17-26.
- [81] Hayashi, L., Faria, G.M., Nunes, B., Zitta, C., Scariot, L., Rover, T., Felix, M.L., and Bouzon, Z. (2011) Effects of salinity on the growth rate, carrageenan yield, and cellular structure of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) cultured in vitro. *Journal of Applied Phycology* **23**, 439-447.

III. Descripción de los trabajos y resumen de resultados

En primer lugar, se han seleccionado dos trabajos en los que se analiza la salinidad máxima a la que se han observado distintas especies de algas en el medio natural. En la Tabla 10 se describe el autor de la publicación, la especie, la salinidad máxima a la que se ha observado la especie y la distribución de la misma en las costas españolas.

Tabla 10: Salinidad máxima de zonas donde se han observado distintas especies de algas

Referencia	Grupo Taxonómico	Especie	Salinidad máxima (psu)	Distribución en España
Barry et al, 1995 [69]	Algas rojas del coralígeno	<i>H. cymodoceae</i>	60	No se han encontrado referencias en España
		<i>H. farinosum</i>	60	Presente en Baleares
		<i>P. caulerpae</i>	60	Presente en Baleares
		<i>P. fragile</i>	60	Presente en península, Baleares y Canarias
		<i>L. bermudense</i>	50	No se han encontrado referencias en España
		<i>L. pustulatum</i>	50	Presente en península, Baleares y Canarias
		<i>M. engelhartii</i>	50	No se han encontrado referencias en España
		<i>N. brassica</i>	50	Presente en península, Baleares
		<i>H. onkodes</i>	50	Presente en Canarias
		<i>L. chamberlainianum</i>	50	No se han encontrado referencias en España



Referencia	Grupo Taxonómico	Especie	Salinidad máxima (psu)	Distribución en España
Martinez, 2007 [77]	Clorofíceas	<i>A. calyculus</i>	39	Presente en península, Baleares y Canarias
		<i>A. saldanhae</i>	45.2	Canary Islands
		<i>A. stellata</i>	64.7	Balearic Islands, Canary Islands, Spain
		<i>A. canariensis</i>	36.3	Canary Islands
		<i>B. occidentalis</i>	44.1	Canary Islands
		<i>C. cupressoides</i>	45.2	Canary Islands
		<i>C. mexicana</i> Sonder	45.2	Canary Islands
		<i>C. prolifera</i>	40.7	Balearic Islands, Canary Islands, Spain
		<i>C. racemosa</i>	36.2	Balearic Islands
		<i>C. sertularioides</i>	40	Canary Islands
		<i>C. taxifolia</i>	38	Canary Islands
		<i>C. crassa</i>	38	Balearic Islands, Spain
		<i>C. prolifera</i>	40	Balearic Islands, Canary Islands, Spain
		<i>C. intertextum</i>	36	Canary Islands
		<i>C. barbata</i>	36.3	Canary Islands
		<i>H. discoidea</i>	38.1	Canary Islands
		<i>H. goreauii</i>	36	Canary Islands
		<i>P. capitatus</i>	44.1	Balearic Islands, Canary Islands, Spain
		<i>R. tomentosa</i>	36.6	Canary Islands
		Feofíceas	<i>C. occidentalis</i>	38.3
	<i>D. delicatula</i>		36	Canary Islands
	<i>D. bartayresiana</i>		38.8	Canary Islands
	<i>D. menstrualis</i>		45.2	Canary Islands
	<i>D. mertensii</i>		36.6	Canary Islands
	<i>D. pinnatifida</i>		36.6	Canary Islands
	<i>D. pulchella</i>		38.3	Canary Islands
	<i>L. variegata</i>		38.3	Balearic Islands, Canary Islands, Spain
	<i>S. filipendula</i>		39.7	Canary Islands
	<i>S. vulgare</i>		36	Balearic Islands, Canary Islands
	<i>S. zonale</i>		36.6	Canary Islands
	Rodofíceas	<i>A. beauvoisii</i>	39.3	Presente en península, Baleares y Canarias
		<i>A. fragilissima</i>	41.2	Canary Islands
		<i>A. rigida</i>	37.3	Balearic Islands, Canary Islands, Spain
		<i>C. clavulatum</i>	40	Balearic Islands, Canary Islands, Spain
		<i>C. cimbricum</i>	41.1	Spain
		<i>C. codii</i>	35	Balearic Islands, Canary Islands, Spain
		<i>C. deslongchampii</i>	36.3	Balearic Islands, Canary Islands, Spain
		<i>C. flaccidum</i>	38	Balearic Islands, Canary Islands, Spain
		<i>C. parvula</i>	37.3	Balearic Islands, Canary Islands, Spain
		<i>C. salicornioides</i>	39.2	Canary Islands
		<i>C. capillaris</i>	41.1	Balearic Islands, Canary Islands, Spain
		<i>C. dasyphylla</i>	38.4	Canary Islands, Isla de Alborán, Spain
		<i>C. papillosus</i>	42.1	Balearic Islands, Canary Islands, Spain
<i>C. poiteauii</i>		64.7	Canary Islands	
<i>C. attenuata</i>		45.2	Spain	
<i>C. seminervis</i>		35	Canary Islands, Spain	
<i>D. baillouviana</i>	38	Balearic Islands, Canary Islands, Spain		



CEDEX

Referencia	Grupo Taxonómico	Especie	Salinidad máxima (psu)	Distribución en España
	Rodofíceas	<i>D. corymbifera</i>	37.3	Balearic Islands, Canary Islands, Spain
		<i>D. crouaniana</i>	37.3	Canary Islands
		<i>D. rigidula</i>	45.2	Balearic Islands, Canary Islands, Spain
		<i>D. vermicularis</i>	52.2	Balearic Islands, Canary Islands, Spain
		<i>D. simplex</i>	45.2	Balearic Islands, Canary Islands, Spain
		<i>G. rugosa</i>	36.6	Canary Islands
		<i>G. cervicornis</i>	36.2	Canary Islands, Spain
		<i>H. cubense</i>	45.2	Balearic Islands
		<i>H. secunda</i>	36.3	Balearic Islands, Canary Islands, Spain
		<i>H. tenella</i>	38	Spain
		<i>H. crispella</i>	37	Balearic Islands, Canary Islands, Alborán, Spain
		<i>H. musciformis</i>	41.5	Balearic and Canary Islands, Alborán, Spain
		<i>H. spinella</i>	45.2	Canary Islands
		<i>H. valentiae</i>	45.2	Canary Islands
		<i>H. hypoglossoides</i>	37	Balearic Islands, Canary Islands, Spain
		<i>J. adhaerens</i>	41.5	Balearic Islands, Canary Islands, Spain
		<i>J. capillacea</i>	44.1	Canary Islands
		<i>J. pumila</i>	36.6	Canary Islands
		<i>J. rubens</i>	41.3	Canary Islands, Spain
		<i>L. intricata</i>	45.4	Canary Islands
		<i>L. microcladia</i>	37.2	Balearic Islands, Canary Islands, Spain
		<i>L. obtusa</i>	37.2	Balearic Islands
		<i>P. atlantica</i>	38	Balearic Islands, Canary Islands, Spain
		<i>P. subtilissima</i>	39.3	Spain
	<i>S. filiformis</i>	35	Canary Islands	
	<i>S. filamentosa</i>	40	Balearic Islands, Canary Islands, Spain	
	<i>S. hypnoides</i>	38.8	Canary Islands, Spain	

Además en la tabla de las páginas siguientes se recogen los principales resultados obtenidos en los trabajos publicados sobre el efecto del incremento de salinidad o umbral de tolerancia de distintas especies. En esta tabla de resumen de resultados, se ha realizado una primera clasificación de los artículos analizados para agrupar organismos del mismo género o familia. La mayoría de las especies encontradas son de especial interés económico ya que son especies de consumo humano; muchas de ellas cultivadas u otras cuyo cultivo esta en fase de estudio.

Tabla 11.: Resumen de resultados del efecto del incremento de salinidad en macroalgas

Referencia	Grupo taxonómico	Especie	Salinidad referencia (psu)	Salinidad estudiada (psu)	Variable estudiada	Respuesta (Rs)	Zona de estudio	Distribución de la especie	Interés comercial	Periodo de exposición (días)	Observaciones
Khalifa et al, 1979 [65]	Cloroficea	<i>Caulerpa prolifera</i>	30	40-45	Tasa de fotosíntesis neta (%)	Reducción gradual del crecimiento	Egipto	Cosmopolita. Muy abundante en costas españolas	Indicador de contaminación (eutrofización). Industria farmacéutica y cosmética	2h	Sólo disponemos del "abstract". Es un alga del Mediterráneo que está siendo desplazada por <i>Caulerpa taxifolia</i>
				1.5							
Einav et al, 1995	Cloroficeas	<i>Enteromorpha compressa</i>	1	1.5	Tasa de fotosíntesis neta (%)	Tasa de crecimiento (%DW ⁻¹ día ⁻¹)	Israel	Cosmopolita. Presente en costas españolas	Indicador de contaminación	2h	Exposición directa al tratamiento de salinidad. No se especifica salinidad de aclimatación (35 psu considerados como control).
				2							
				3							
Kallaperumal, 2001 [71]	Cloroficea	<i>Ulva lactuca</i>	35	45	Tasa de crecimiento (%DW ⁻¹ día ⁻¹)	Toda las algas dañadas en tratamiento	Mandapam, India	Cosmopolita. Presente en costas españolas	Indicador de contaminación	18	Exposición directa al tratamiento de salinidad. No se especifica salinidad de aclimatación (35 psu considerados como control).
				40							
Choi et al, 2010 [80]	Cloroficea	<i>Ulva petrusa</i>	34	40	Formación de rizomas (% del total de esporas)	Reducción importante del crecimiento	Corea	Cosmopolita. Presente en costas españolas	Sin usos comerciales conocidos	7	Alga competidora con fanerógamas como <i>Zostera marina</i> (absorción de luz). Datos obtenidos a partir de gráficas
				47.32							
				58.24							
Whitaker et al, 1937 [63]	Feoficea	<i>Fucus ferratus (Fucus distichus)</i>	36.4	61.88	Tamaño de esporas (% del tamaño en control)	Agua templada de América del norte e Europa. No se han encontrado referencias de la distribución de este alga en Península Ibérica	California	Sin usos comerciales conocidos	Sin usos comerciales conocidos	4	Esta alga no aparece en costa española aunque otras de este mismo genero ampliamente distribuidas. Datos obtenidos a partir de gráficas. Salinidad obtenida a partir de densidad y temperatura
				43.68							
				50.96							
				>54.45							
Bird et al, 1979 [64]	Feoficea	<i>Fucus serratus</i>	25 - 30	>40	Tasa de crecimiento (%)	Reducción importante del crecimiento	Canadá	Cosmopolita. Muy abundante en costas españolas	Interés por ficocoloides. Especie cultivada	6h	Sólo disponemos del abstract.
				68							
				102							
Back et al, 1992 [67]	Feoficea	<i>Fucus vesiculosus</i>	34	45	Tasa de crecimiento en peso (%FW)	Cosmopolita. Muy abundante en costas españolas. En el Mediterráneo se adentra hasta la costa de Málaga	Isla de Man, Inglaterra	Complemento alimentario	Complemento alimentario	77	Exposición directa al tratamiento de salinidad. Datos estimados a partir de gráficas. Realiza otro experimento de comparación de dos poblaciones distintas (atlántica y del mar Báltico) con algas aclimatadas a 34 psu
				45							
				Tasa de crecimiento en longitud (%)							
Einav et al, 1995 [68]	Feoficeas	<i>Padina pavonia</i>	1	1.5	Tasa de fotosíntesis neta (%)	Tasa de fotosíntesis neta (%)	Israel	Cosmopolita. Muy abundante en costas españolas	Industria farmacéutica y cosmética	2h	Exposición directa al tratamiento de salinidad. Datos estimados a partir de gráficas. Salinidades relativas a salinidad de aclimatación constituida por agua de mar artificial (menciona el contenido
				2							
				3							

Referencia	Grupo taxonómico	Especie	Salinidad referencia (psu)	Salinidad estudiada (psu)	Variable estudiada	Respuesta (Rs)	Zona de estudio	Distribución de la especie	Interés comercial	Periodo de exposición (días)	Observaciones				
Einav et al, 1995 [68]	Feofíceas	<i>Sargassum vulgare</i>	1	1.5	Tasa de fotosíntesis neta (%)	100 en el control	Israel	Cosmopolita. Muy abundante en costas españolas	Extracción de alginatos	2h	en sales de esa agua de mar pero no su salinidad absoluta). Analiza también la influencia de la temperatura la iluminación en la tasa de fotosíntesis y otros descriptores como el contenido en agua o en carbono.				
				2		75 en el tratamiento de salinidad									
				3		100 en el control 95 en el tratamiento de salinidad 100 en el control 40 en el tratamiento de salinidad									
Kaliaperumal et al, 2001 [71]	Feofíceas	<i>Turbinaria conoides</i>	35	45	Tasa de crecimiento org. jóvenes (%DW ⁻¹ día ⁻¹)	2.5 en el control	Mandapam, India	Indo-Pacífica	Producción de alginatos y fertilizante	18	Exposición directa al tratamiento de salinidad. No se especifica salinidad de acimatación (35 psu considerados como control es la salinidad de crecimiento máximo de la planta)				
				10-20		Todas las algas dañadas en tratamiento									
Nygard et al, 2008 [78]	Feofíceas	<i>Fucus vesiculosus</i>	5	35	Tasa de fotosíntesis (umol m ⁻² s ⁻¹)	Salinidad óptima para fotosíntesis	Golfo de Bothnia, Mar Báltico	Cosmopolita. Muy abundante en costas españolas. En el Mediterráneo se adentra hasta la costa de Málaga	Complementario alimentario	18	En este estudio se analiza al mismo tiempo el efecto de salinidad, cantidad de nutrientes y carbono disuelto. Estos datos (obtenidos a partir de gráficas) son los resultados de comparar, el efecto de la salinidad con alto contenido en nutrientes y carbono. Exposición gradual a los tratamientos de salinidad (2psu/h)				
				45		34 en el control									
				10-20		39 en el tratamiento de salinidad 34 en el control									
				Nygard et al, 2008 [78]	Feofíceas	<i>Fucus vesiculosus</i>	35	35	Tasa de crecimiento (mg g ⁻¹ day ⁻¹)	Salinidad óptima para el crecimiento	Irlanda		Complementario alimentario	18	En este estudio se analiza al mismo tiempo el efecto de salinidad, cantidad de nutrientes y carbono disuelto. Estos datos (obtenidos a partir de gráficas) son los resultados de comparar, el efecto de la salinidad con alto contenido en nutrientes y carbono. Exposición gradual a los tratamientos de salinidad (2psu/h)
								45		15 en el control					
								20		18 en el tratamiento de salinidad 15 en el control					
Geotechnical services, 2008 [33]	Feofíceas (similar al fucus)	<i>Ecklonia radiata</i>	39.9	42.36	Tasa de fotosíntesis (umol m ⁻² s ⁻¹)	Salinidad óptima para fotosíntesis	Australia	Índico (sobre todo en Australia). Aparece en Islas Canarias y Cavo Verde)	Fertilizante. Productos cosméticos	3	Apéndice O.10.2 Del Estudio de Impacto ambiental del proyecto Olmpyc Dam Extension [30]. Estudio realizado para determinar el impacto de dicha desaladora. A partir de los resultados de este estudio determinan la dilución necesaria para proteger el 95% de las especies presentes en la zona de vertido				
				44.87		53 en el control									
				49.79		50 en el tratamiento de salinidad									
				59.72	Salinidad óptima para crecimiento										
				49.54	Tasa de crecimiento (mg g ⁻¹ day ⁻¹)	92 en el control									
				50.42	Tasa de germinación (% de esporas con tubos de germinación)	89 en el tratamiento de salinidad									
59.18	Índices estadísticos	92 en el control													
62.41		85 en el tratamiento de salinidad													
NOEC (Sin influencia en germinación)		92 en el control													
Bird et al, 1979 [64]	Rodofíceas	<i>Chondrus crispus</i> <i>Gracilaria sp.</i>	25 - 30	>40	Tasa de crecimiento (%)	Reducción considerable del crecimiento	Canadá	Atlántico Norte y Mediterráneo Cosmopolita. Presente atlántico español	Interés industrial por ficoloides. Especies cultivada		Sólo disponemos del abstract.				
				62.41		56 en el tratamiento de salinidad									

Referencia	Grupo taxonómico	Especie	Salinidad referencia (psu)	Salinidad estudiada (psu)	Variable estudiada	Respuesta (Rs)	Zona de estudio	Distribución de la especie	Interés comercial	Periodo de exposición (días)	Observaciones
Macler, 1988 [66]	Rodoficea	<i>Gelidium coulteri</i>	30	35	Tasa de crecimiento en peso (%/día ⁻¹)	7.2 en el control	Norte de Baja California	Pacífico Noreste y filipinas	Extracción de agar	35	Analiza otros descriptores metabólicos como Fotosíntesis y respiración y producción de agar o contenido en pigmentos o proteínas.
				40		6.8 en el tratamiento de salinidad					
				50		7.2 en el control					
						6.5 en el tratamiento de salinidad					
Einav et al, 1995 [68]	Rodoficeas	<i>Acantophora najadiformis</i>	1	1.5	Tasa de fotosíntesis neta (%)	100 en el control	Israel	Cosmopolita. Muy abundante en costas españolas	Industria farmacéutica y cosmética	2h	Exposición directa al tratamiento de salinidad. Datos estimados a partir de gráficas. Salinidades relativas a salinidad de aclimatación constituida por agua de mar artificial (menciona el contenido en sales de esa agua de mar pero no su salinidad absoluta). Analiza también la influencia de la temperatura la iluminación en la tasa de fotosíntesis y otros descriptores como el contenido en agua o en carbono.
				2		60 en el tratamiento de salinidad					
				3		100 en el control					
				1.5		70 en el tratamiento de salinidad					
						100 en el control					
						30 en el tratamiento de salinidad					
						100 en el control					
						0 en el tratamiento de salinidad					
						10.8 en el control					
						9 en el tratamiento de salinidad					
Wong et al, 2000 [70]	Rodoficea	<i>Grateloupia filicina</i>	30	40	Tasa de crecimiento en peso (%/día ⁻¹)	10.8 en el control	Taiwan	Cosmopolita. Presente en Atlántico español y Mediterráneo	Consumo humano e industria alimentaria. Especie cultivada	14	Exposición directa a los tratamientos de salinidad
				35		9 en el tratamiento de salinidad					
				40		10.8 en el control					
						5 en el tratamiento de salinidad					
				40		0.12 en el control					
						0.13 en el tratamiento de salinidad					
						2.5 en el control					
						Todas las algas dañadas en tratamiento					
						2.5 en el control					
						Todas las algas dañadas en tratamiento					
Kallaperumal et al, 2001 [71]	Rodoficeas	<i>Gelidium folifera</i>	35	45	Tasa de crecimiento de organismos jóvenes (%DW ⁻¹ día ⁻¹)	2.5 en el control	Mandapam, India	Cosmopolita. Muy abundante en costas españolas	Producción de agar	18	Exposición directa al tratamiento de salinidad. No se especifica salinidad de aclimatación (35 psu considerados como control es la salinidad de crecimiento máximo de la planta). Analiza otros descriptores y realiza otro experimento de aclimatación de las algas a 55 psu y reducción gradual hasta 10 psu
				45		5 en el control					
				45		6.3 en el control					
				45		5 en el tratamiento de salinidad					
				45		6.3 en el control					
				45		5 en el tratamiento de salinidad					
				45		5 en el control					
				45		5 en el tratamiento de salinidad					
				45		5 en el control					
				45		5 en el tratamiento de salinidad					
		<i>Gracilaria edulis</i>		45	Tasa de crecimiento de organismos jóvenes (%DW ⁻¹ día ⁻¹)	7.5 en el control	Indo-Pacífico	Cosmopolita. Presente en costas españolas			
				45		7.5 en el control					
				45		7.5 en el tratamiento de salinidad					
				45		7.5 en el control					
		<i>Gracilaria corticata</i>		55	Tasa de crecimiento de organismos jóvenes (%DW ⁻¹ día ⁻¹)	Todas las algas dañadas en tratamiento	Indo-Pacífico	Cosmopolita. Presente en costas españolas			
				55		7.5 en el control					
				55		7.5 en el tratamiento de salinidad					
				55		7.5 en el control					
		<i>Gracilaria crassa</i>		55	Tasa de crecimiento de organismos jóvenes (%DW ⁻¹ día ⁻¹)	Todas las algas dañadas en tratamiento	Indo-Pacífico	Cosmopolita. Presente en costas españolas			
				55		7.5 en el control					
				55		7.5 en el tratamiento de salinidad					
				55		7.5 en el control					
		<i>Hypnea valentiae</i>		55	Tasa de crecimiento de organismos jóvenes (%DW ⁻¹ día ⁻¹)	Todas las algas dañadas en tratamiento	Indo-Pacífico	Cosmopolita. Presente en costas españolas			
				55		7.5 en el control					
				55		7.5 en el tratamiento de salinidad					
				55		7.5 en el control					

Referencia	Grupo taxonómico	Especie	Salinidad referencia (psu)	Salinidad estudiada (psu)	Variable estudiada	Respuesta (Rs)	Zona de estudio	Distribución de la especie	Interés comercial	Periodo de exposición (días)	Observaciones				
Kaliaperumal et al, 2001 [71]	Rodofíceas	<i>Hypnea musciformis</i>	35	45	Tasa de crecimiento de organismos jóvenes (%DW ⁻¹ día ⁻¹)	3.8 en el control	Mandapam, India	Atlántica. Muy abundante en costas españolas	Producción de agar	18	Exposición directa al tratamiento de salinidad. No se especifica salinidad de aclimatación (35 psu considerados como control es la salinidad de crecimiento máximo de la planta). Analiza otros descriptores y realiza otro experimento de aclimatación de las algas a 55 psu y reducción gradual hasta 10 psu				
		<i>Acanthophora spicifera</i>		45		10 en el control		Cosmopolita. Sin referencias en costas españolas							
		<i>Laurencia papillosa</i>		55		15 en el tratamiento de salinidad		Cosmopolita. Muy abundante en costas españolas							
	Raikar et al, 2001 [72]	Rodofíceas	<i>Gracilaria verrucosa</i> (<i>Gracilaria gracilis</i>)	32	45	Tasa de crecimiento de esporas en peso (%FW día ⁻¹)	7.5 en el tratamiento de salinidad	Brasil	Cosmopolita. Presente en el litoral atlántico español	Producción de agar	28	Exposición directa a los tratamientos de salinidad. Analiza otros descriptores como el contenido en agua y el porcentaje de tallo necrosado en el caso de organismos adultos. Concluye que estas especies pueden ser cultivadas hasta salinidad de 40 psu (60 psu en el caso de <i>Hypnea cornuta</i>)			
					60		3.5 en el control						Todas las algas dañadas en tratamiento		
					40		12 en el control						12 en el control		
					45		9.3 en el tratamiento de salinidad						12 en el control		
					50		12 en el tratamiento de salinidad						7.2 en el tratamiento de salinidad		
					55		12 en el control						12 en el control		
			60	0.6 en el tratamiento de salinidad	16.2 en el control		14.1 en el tratamiento de salinidad								
			<i>Gracilaria sp.</i>	32	32		40	16.2 en el control	16.2 en el tratamiento de salinidad	16.2 en el control	Brasil	Cosmopolita. Presente en el litoral atlántico español	Producción de agar	28	Exposición directa a los tratamientos de salinidad. Analiza otros descriptores como el contenido en agua y el porcentaje de tallo necrosado en el caso de organismos adultos. Concluye que estas especies pueden ser cultivadas hasta salinidad de 40 psu (60 psu en el caso de <i>Hypnea cornuta</i>)
							45	16.2 en el control	16.2 en el tratamiento de salinidad	16.2 en el control					
50							9.6 en el tratamiento de salinidad	16.2 en el control	5.7 en el tratamiento de salinidad						
55							16.2 en el control	16.2 en el control	2.4 en el tratamiento de salinidad						
60							22.0 en el control	22.0 en el control	22.0 en el control						
40	19.0 en el tratamiento de salinidad	22.0 en el control				12.5 en el tratamiento de salinidad									
<i>Meristiella echinocarpa</i>	32	32	45	22.0 en el control	9.7 en el tratamiento de salinidad	22.0 en el control	Brasil	Atlántico Oeste	Interés comercial pero usos desconocidos	28	Exposición directa a los tratamientos de salinidad. Analiza otros descriptores como el contenido en agua y el porcentaje de tallo necrosado en el caso de organismos adultos. Concluye que estas especies pueden ser cultivadas hasta salinidad de 40 psu (60 psu en el caso de <i>Hypnea cornuta</i>)				
			50	22.0 en el control	22.0 en el control	22.0 en el control									
			55	Mortalidad de todos los organismos	38.9 en el control	33.1 en el tratamiento de salinidad									
			40	38.9 en el control	38.9 en el control	27.1 en el tratamiento de salinidad									
			45	38.9 en el control	38.9 en el control	38.9 en el control									
			50	18.7 en el tratamiento de salinidad	38.9 en el control	15.0 en el tratamiento de salinidad									
<i>Hypnea cornuta</i>	32	32	50	38.9 en el control	6.9 en el tratamiento de salinidad	38.9 en el control	Brasil	Costa Este de África	Interés comercial por su contenido de carragenina (industria alimentaria)	28	Exposición directa a los tratamientos de salinidad. Analiza otros descriptores como el contenido en agua y el porcentaje de tallo necrosado en el caso de organismos adultos. Concluye que estas especies pueden ser cultivadas hasta salinidad de 40 psu (60 psu en el caso de <i>Hypnea cornuta</i>)				
			55	38.9 en el control	38.9 en el control	15.0 en el tratamiento de salinidad									
			60	6.9 en el tratamiento de salinidad	8.1 en el control	8.1 en el control									
			40	6.1 en el tratamiento de salinidad	8.1 en el control	2.7 en el tratamiento de salinidad									
			45	8.1 en el control	8.1 en el control	8.1 en el control									
			50	1.9 en el tratamiento de salinidad	1.9 en el control	1.9 en el control									
<i>Hypnea musciformis</i>	32	32	40	1.9 en el control	1.9 en el control	1.9 en el control	Brasil	Cosmopolita. Muy abundante en costas españolas	Interés comercial por su contenido de carragenina (industria alimentaria)	28	Exposición directa a los tratamientos de salinidad. Analiza otros descriptores como el contenido en agua y el porcentaje de tallo necrosado en el caso de organismos adultos. Concluye que estas especies pueden ser cultivadas hasta salinidad de 40 psu (60 psu en el caso de <i>Hypnea cornuta</i>)				
			45	1.9 en el control	1.9 en el control	1.9 en el control									

Referencia	Grupo taxonómico	Especie	Salinidad referencia (psu)	Salinidad estudiada (psu)	Variable estudiada	Respuesta (Rs)	Zona de estudio	Distribución de la especie	Interés comercial	Periodo de exposición (días)	Observaciones
Raikar et al, 2001 [72]	Rodoficeas	<i>Pterocladia capillacea</i>	32	40	Tasa de Tasa de crecimiento en peso (%FW día ⁻¹)	8 en el control	Brasil	Cosmopolita. Muy abundante en costas españolas	Producción de agar. Especie cultivada	28	Exposición directa a los tratamientos de salinidad. Analiza otros descriptores como el contenido en agua y el porcentaje de tallo necrosado en el caso de organismos adultos. Concluye que estas especies pueden ser cultivadas hasta salinidad de 40 psu (60 psu en el caso de <i>Hypnea cornuta</i>)
				45		8 en el control					
Wilson et al, 2004 [73]	Rodoficea. Fondos de maërl	<i>Phymatolithon calcareum</i> <i>Lithamoniom corallioides</i>	33	40	Actividad fotosintética (Fv/Fm)	5.3 en el tratamiento de salinidad	Irlanda del norte	Cosmopolita. Muy abundante en litoral español. Presente en litoral español	Estabilizador del suelo. Alto valor ecológico	35	Estudio de laboratorio para determinar entre otros parámetros la tolerancia a la salinidad. Algunas especies de estos géneros incluidas en Anexo V de Directiva Habitats
				35		0.5 en el control					
Mansilla et al, 2004 [74]	Rodoficea	<i>Sarcothalia crispata</i>	30	35	Tasa de crecimiento de esporas (% día ⁻¹)	0.5 en el tratamiento de salinidad	Tierra de Fuego, Chile	Chile y Argentina	Consumo humano y fertilizante. Cultivo en estudio	42	Plantas aclimatadas con agua de mar filtrada pero no indica la salinidad de esa agua. Exposición directa a los tratamientos de salinidad. Aporta también datos con periodo de exposición de 12 días
				40		8.21 en el tratamiento de salinidad					
				35		5.12 en el control					
				40		4.91 en el tratamiento de salinidad					
Jayasankar, 2005 [75]	Rodoficeas	<i>Gracilaria edulis</i> <i>Gracilaria crassa</i>	33	35	Tasa de crecimiento de plantas (% día ⁻¹)	4.18 en el tratamiento de salinidad	Golfo de Mannar, India	Indo-Pacífico	Producción de agar	6	Exposición directa a los tratamientos de salinidad. Datos obtenidos a partir de gráficas. Analiza otros descriptores fisiológicos como el peso molecular de carbohidratos, etc.
				45		24.84 en tratamiento de salinidad					
				35		22.56 en tratamiento de salinidad					
				45		17.58 en tratamiento de salinidad					
				45		8.62 en tratamiento de salinidad					
Eggert et al, 2007 [76]	Rodoficea	<i>Bangiopsis subsimplex</i>	33	40	Tasa de crecimiento (biomasa día ⁻¹)	0.26 en el control	Visakhapatnam, India	Referencias en Sureste Asiático, India y costa atlántica de Sudamérica	Desconocido	14	Exposición directa a los tratamientos de salinidad. Datos estimados a partir de gráficas
				50		0.27 en el tratamiento de salinidad					
				60		0.26 en el control					
				70		0.24 en el tratamiento de salinidad					
Steyn, 2009 [79]	Rodoficea	<i>Gelidium pristoides</i>	35	40	Tasa de fotosíntesis (µmol O ₂ g ⁻¹ s ⁻¹)	0.06 en el tratamiento de salinidad	Sudáfrica	Sudáfrica	Extracción de agar. Especie cultivada	1	Exposición directa a los tratamientos de salinidad. Datos estimados a partir de gráficas. No proporciona datos de la tasa de fotosíntesis en control. Estima que la salinidad óptima para la fotosíntesis es de 20 a 40 psu.
				50		0.008 en el tratamiento de salinidad					
				60		0.003 en el tratamiento de salinidad					
Hayashi et al, 2011 [81]	Rodoficea	<i>Kappaphycus alvarezii</i>	35	45	Tasa de crecimiento (% día ⁻¹)	4 en el control	Desconocido	Sureste asiático y mar caribe. Sin referencias en costas españolas	Industria alimentaria, farmacéutica y cosmética. Especie cultivada		Sólo se dispone del "abstract" y el gráfico de este artículo. Datos estimados a partir del gráfico.
				55		3.5 en el tratamiento de salinidad					
				55		4 en el control					

IV. Análisis de resultados y conclusiones

A la vista de estos resultados de la tabla de la página anterior se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1.- Según los datos de la Tabla 10, podemos observar como un buen número de especies de algas pueden aparecer en ambiente naturales con salinidades elevadas. Para comprobar si existe alguna relación entre el tipo de alga y la salinidad máxima en la figura siguiente se ha representado un gráfico para cada grupo taxonómico separando las rodofíceas típicas de los fondos de Maërl del resto de algas rojas.

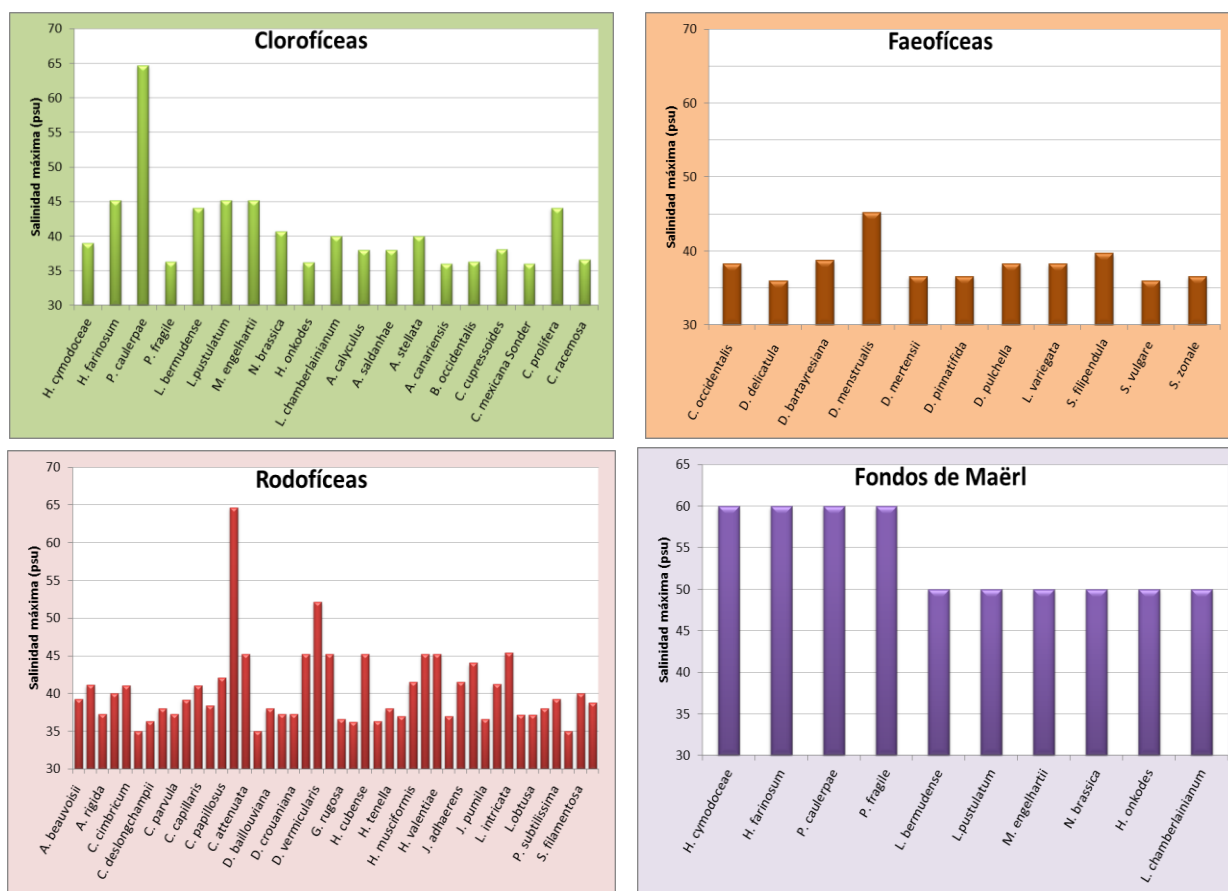


Figura 17: Salinidad máxima a la que se han observado distintas especies de algas en el medio natural

Como puede verse en los gráficos en la mayoría de los casos e independientemente del tipo de alga, la salinidad máxima varía entre los 35 y los 45 psu alcanzando para algunas especies salinidades de incluso 60-65 psu. En el caso de las algas pardas quizá la salinidad máxima a la que se observan las distintas especies es algo más baja que para el resto de algas (la mayoría entre 35 y 40 psu) pero estos datos coinciden con la distribución vertical de los distintos grupos. Recordamos que las algas verdes habitan en la zona intermareal donde están sometidas a mayores variaciones de salinidad y que las algas rojas son las que se encuentra a mayor profundidad (mayor salinidad) mientras que las algas pardas se limitan a los primeros metros de la zona infralitoral con condiciones de salinidad más estables (salvo en caso de los estuarios). En los fondos de Maërl de hecho todas las especies estudiadas han sido observadas a salinidades de más de 50 psu.

En la Figura 18 se muestra el histograma con la distribución en función de la salinidad de todas las algas estudiadas. Como puede verse, aunque la mayoría de las especies se observan a una salinidad máxima entre 36-38 psu, también son muy comunes a salinidades superiores.

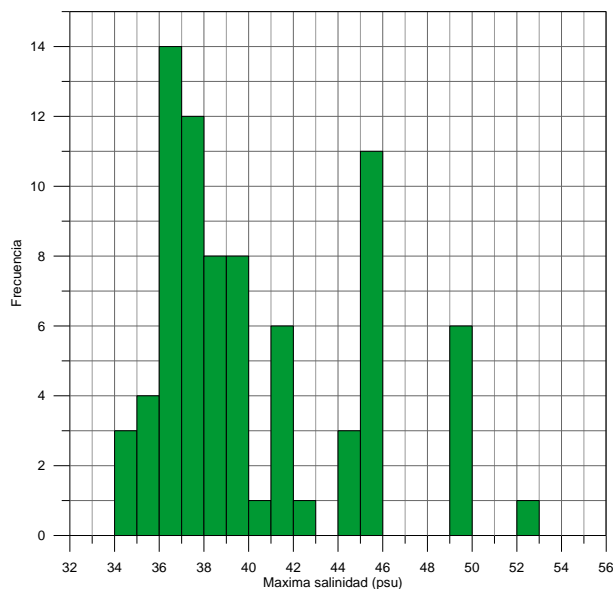


Figura 18: Frecuencia de distribución de distintas especies de algas en función de la salinidad máxima a la que se observan en el medio natural.

Con este gráfico podemos hacernos una idea de que la tolerancia de las algas a la salinidad es algo mayor que en los grupos anteriores ya que de forma natural se pueden observar un rango amplio de salinidades. No obstante, para analizar la influencia de las variaciones de esta salinidad, en los siguientes puntos se analizan los estudios realizados para cada especie en concreto (Tabla 11).

2.- La mayoría de los artículos encontrados estudian la salinidad máxima que toleran especies de algas rojas, la mayoría de ellas para la acuicultura. Estas algas tienen una elevada importancia económica ya que de ellas se extraen polisacáridos muy utilizados en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética. Además al ser estas especies las que habitan en zonas más profundas del piso infralitoral (con condiciones ambientales más estables) son las más vulnerables ante los cambios bruscos de salinidad. Fundamentalmente se analiza la tasa de crecimiento de los talos de organismos adultos, mientras que rara vez se aportan datos de mortalidad/supervivencia ya que las algas son menos susceptibles a este parámetro. En algún caso se analiza también la tasa de fotosíntesis, la tasa de germinación de esporas sometidas a distintos tratamientos de salinidad e incluso la capacidad de fijación al sustrato. Algunos autores proporcionan además el índice estadístico de toxicidad para la variable estudiada.

3.- Considerando la variabilidad de la salinidad de referencia o control a la que están aclimatados los organismos en los distintos estudios, así como de las salinidades de cada tratamiento, para poder comparar el conjunto de resultados resumidos en la tabla del apartado anterior, se ha considerado el incremento de salinidad de cada tratamiento respecto a la salinidad del medio o salinidad control.

4.- En los gráficos de la Figura 19 se representan las repuestas obtenidas para la “tasa de crecimiento” de distintas especies de algas para incrementos de salinidad de 5, 10, 15, 20 y más de 20 psu.

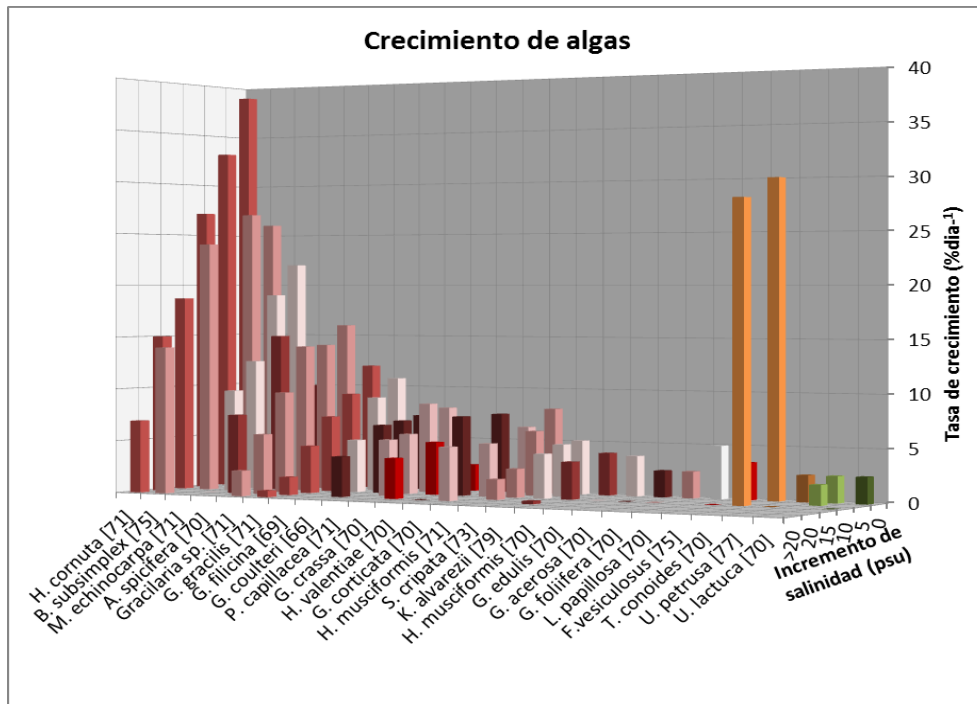


Figura 19: Tasa de crecimiento de distintas especies de algas en función del incremento de salinidad del tratamiento respecto a la salinidad control. Barras con tonos rojos corresponde a especies de algas rojas, con tonos anaranjado a algas pardas y con tonos verdes a clorofíceas

A partir de los datos de este gráfico no se puede extraer conclusiones para las algas pardas ni las algas verdes ya que sólo se dispone de información de dos especies en cada caso con resultados muy variables para cada una. En cuanto a las algas rojas, aunque los resultados son muy diferentes entre unas especies y otras, por lo general hasta incrementos de salinidad de 10 psu, no se observan reducciones importantes en la tasa de crecimiento en relación con el crecimiento en el control. Algunas de ellas, como por ejemplo *Gracilaria sp.* [71], *H. cornuta* [71] o *B. subsimplex* [75] crecen incluso con incrementos de salinidad de 35 psu.

3.- Algunos autores, han estudiado otras variables como la tasa de fotosíntesis o la germinación de esporas (Figura 20). De nuevo, aunque no son muchos los datos disponibles, se confirma que incrementos de salinidad de hasta 10 psu no producen ningún efecto sobre las variables estudiadas.

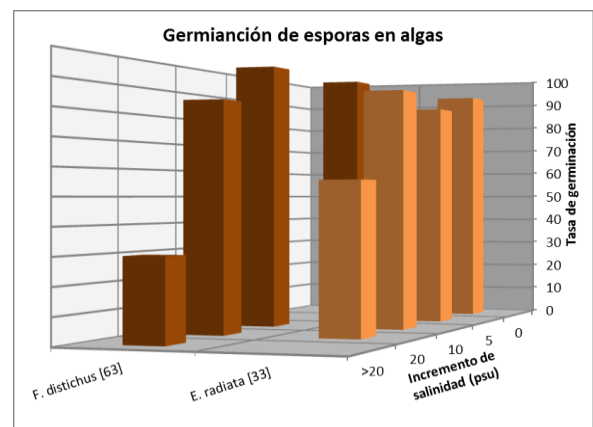
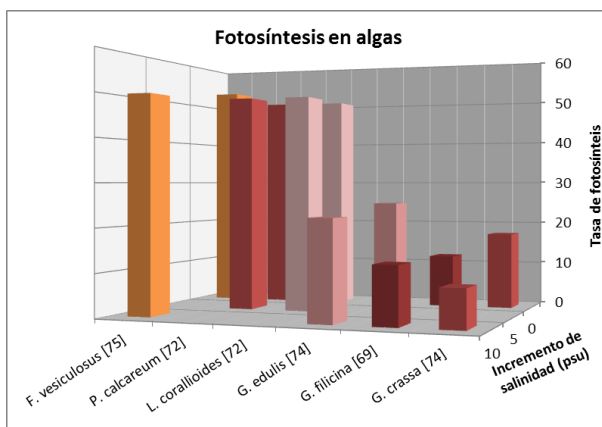


Figura 20: Efecto del incremento de salinidad en la tasa de fotosíntesis y la tasa de germinación de esporas de distintas especies de algas.



Por todo lo mencionado en los puntos anteriores, se puede confirmar que las algas son más tolerantes a los incrementos de salinidad que el resto de organismos estudiados siendo menos susceptibles a los impactos ambientales derivados del vertido de salmuera de plantas desaladoras. Se demuestra que incrementos de salinidad de hasta 10 psu no producen efectos crónicos importantes en las algas. Hablar de un incremento de 10 psu en el mar Mediterráneo (salinidad media. 37,5 psu) es lo mismo que decir que un incremento de salinidad de hasta el 27% respecto al medio receptor, no supone alteraciones importantes en el metabolismo de algas. Para el vertido de una desaladora tipo de osmosis inversa con un rendimiento medio del 45% (salinidad del efluente de 68.2 psu) una dilución de 3,1 sería suficiente para conseguir un incremento de salinidad en el medio inferior a ese 27%. Según datos obtenidos en el CEDEX con modelos físicos y con la ejecución de campañas de campo en plantas desaladoras, incluso con los mecanismos menos efectivos que se utilizan actualmente en las plantas en funcionamiento en España, como son los vertidos desde la línea de costa (playa o acantilado), es fácil conseguir que al final del campo cercano ya se produzcan las diluciones suficientes para no superar ese umbral de tolerancia.

5.5 Otros estudios

I. Antecedentes

Hasta este punto, los apartados anteriores se basan en la recopilación de estudios sobre la influencia de la salinidad en una o varias especies. Sin embargo, otros autores han enfocado sus estudios a determinar el efecto de los vertidos de salmuera en los propios ecosistemas y en la dinámica de sus poblaciones. Muchos de ellos dan un enfoque general de posibles efectos en distintas comunidades mientras que sólo algunos (los que se mencionan en este apartado) proporcionan datos cuantitativos de las variables características que describen la estructura de las comunidades ecológicas (abundancia, riqueza de especies, diversidad, estructura, etc.).

La estabilidad en un ecosistema se logra cuando éste alcanza el equilibrio y esto ocurre cuando se equilibran las fuerzas que actúan sobre él. Se dice que los ecosistemas tienen en sí un equilibrio dinámico ya que pueden sufrir alteraciones naturales de las que se recuperan restableciendo el equilibrio original o dando origen a un nuevo equilibrio. Sin embargo se producen otras alteraciones por acción humana que son más peligrosas y, si se prolongan por mucho tiempo y en grandes extensiones, generalmente son irreversibles por la alteración del ambiente (cómo es el vertido de una planta desaladora).

II. Bibliografía revisada

En este apartado se enumera la bibliografía ordenada por año de publicación. Aunque numerosos autores describen de forma genérica el efecto de los vertidos de plantas desaladoras en diversas comunidades marinas sólo se incluyen en este apartado referencias a artículos que aportan datos sobre éstas:

- [82] Castriota, L., Beltrano, Ç.M., Giambalvo, O., Vivona, P., and Sunseri, G. (2001) A one-year study of the effects of a hyperhaline discharge from a desalination plant on the zoobenthic communities in the Ustica Island Marine Reserve (Southern Tyrrhenian Sea) In: 36 CIESM Monaco
- [83] Raventos, N., Macpherson, E., and García-Rubiés, A. (2006) Effect of brine discharge from a desalination plant on macrobenthic communities in the NW Mediterranean. *Marine Environmental Research* **62**, 1-14.



CEDEX

- [84] Del-Pilar-Ruso, Y., De-la-Ossa-Carretero, J.A., Gimenez-Casaldueiro, F., and Sanchez-Lizaso, J.L. (2008) Effects of a brine discharge over soft bottom Polychaeta assemblage. *Environmental Pollution* **156**, 240-250.
- [85] Riera, R., Tuya, F., Ramos, E., Rodríguez, M., and Monterroso, Ó. (2012) Variability of macrofaunal assemblages on the surroundings of a brine disposal. *Desalination* **291**, 94-100.

III. Descripción de los trabajos y resumen de resultados

Todos estos estudios coinciden en estudiar el efecto de los vertidos de salmuera en comunidades del zoobentos asociadas a sustratos blandos. Igualmente coinciden en el análisis de las mismas variables como son la abundancia, riqueza, diversidad y densidad de especies para lo que siguen una metodológica muy parecida en todos los trabajos.

1) El artículo publicado por Crastioti et al en el 2001 ([82]) hace referencia al estudio realizado en la zona de afección del vertido de salmuera de la planta desaladora de **Ustica Isalnd** en el mar Tirreno (Italia). El efluente, con una salinidad de 70 ppt se vierte al mar a través de un emisario submarino con múltiples bocas difusoras situado a 50 m de profundidad.

Para el análisis de la influencia del vertido en las comunidades bentónicas recoge muestras de sedimento antes (salinidad media en todas las estaciones entre 36.9 y 37.9), 6 meses y un año después de la puesta en funcionamiento de la planta en tres estaciones de muestreo: alrededor del tramo difusor (salinidad 47.5-49.5 ppt), a 20-30 m de distancia del punto de vertido y en una zona control.

Según los resultados de este estudio, anterior al vertido todas las estaciones presentaron los mismos índices de diversidad de especies siendo los más importantes tanto en riqueza como en abundancia el grupo de poliquetos seguido de crustáceos, moluscos, equinodermos y otros grupos. Tras la puesta en funcionamiento de la planta, mientras que las estaciones más alejadas del punto de vertido no mostraron grandes diferencias en estos parámetros, en la estación próxima al tramo difusor se registraron los valores más bajos tanto en diversidad como en abundancia y riqueza de especies (ausencia de equinodermos en esta estación). Además, las especies más abundantes en todas las estaciones de muestreo anteriores al vertido, fueron desplazadas en el caso de esta estación (no así en las otras dos) por otras especies de poliquetos más resistentes a las variaciones de salinidad.

2) Por su parte, Raventos et al [83] estudiaron en el 2006 las inmediaciones del vertido de la planta desaladora de **Blanes** en el Mediterráneo, realizado a través de un emisario submarino con múltiples bocas a 30 m de profundidad (salinidad del efluente 60 g/l).

Para ello realizaron censos visuales antes (salinidad media en todas las estaciones entre 36.9 y 37.9), tras la puesta en funcionamiento y un año después, a lo largo de 16 transectos emplazados en tres estaciones de muestreo: una en las inmediaciones del punto de muestreo (a menos de 10 m ya que a esta distancia ya no se aprecia el vertido) y dos controles alejados más 1000m de este.

Según los resultados de este estudio, anterior al vertido todas las estaciones presentaron índices similares de riqueza de especies estando representados en este censo distintas especies de poliquetos, crustáceos, moluscos, equinodermos y peces. Tras la puesta en funcionamiento de la planta, mientras que una de las estaciones de control mantuvo el mismo patrón de riqueza de especies, en la estación próxima al punto de muestreo se observó una



disminución de ésta debido a la desaparición de ciertas especies fundamentalmente de equinodermos y también de algunos crustáceos. Sin embargo esta disminución se observó también en otra de las estaciones de control concluyendo los autores que estas variaciones no podían ser atribuidas al incremento de salinidad sino a la combinación de la salinidad con la variabilidad espacio temporal que caracteriza este tipo de fondos marinos (sustratos blandos).

3) Del-Pilar-Ruso et al ([84]) publicaron en el 2008 el estudio realizado en la zona de afección del vertido de salmuera de la planta desaladora de **Alicante**, también en el Mediterráneo. El efluente, con una salinidad de 68 psu se vierte al mar directamente a través de una arqueta de vertido en la línea de costa.

Para el análisis de la influencia del vertido en las comunidades bentónicas se recogieron durante los dos años siguientes a la puesta en funcionamiento de la planta con una periodicidad de 6 meses (una en invierno y otra en verano) en tres estaciones de muestreo a lo largo de tres transectos perpendiculares a la línea de costa (total de 9 estaciones): en el eje del punto de vertido, a 400m al norte y a 400m al sur de este eje. Las estaciones de muestreo se localizaron en las líneas batimétricas de -4m (más próximas al vertido con salinidades en el eje de 40.5 psu), -10m y -15m (con salinidades entre 37.5 y 38.5 psu salvo a 10m de profundidad en el eje donde las salinidades medias superan los 39 psu).

Según los resultados de este estudio, variaciones significativas de la salinidad pudieron producir cambios en la abundancia, diversidad y la substitución de ciertas especies o comunidades por otras. Las comunidades representadas fundamentalmente por poliquetos, crustáceos y moluscos en las estaciones más alejadas del vertido fueron sustituidas en los puntos más próximos con salinidades superiores a 39 psu por comunidades representadas casi exclusivamente por nematodos. Se observó que por encima de 38 psu el número de especies decrece considerablemente. Sin embargo estos datos no pueden ser atribuidos exclusivamente al incremento de salinidad ya que no todas las estaciones estuvieron caracterizadas por el mismo tipo de sustrato (arenas a menor profundidad y fangos a mayor profundidad).

4) Finalmente, el artículo publicado por Riera et al ([85]) en el 2012 se analizan los resultados obtenidos del estudio de la zona afectada por el vertido de la planta desaladora de **Las Burras**, en Gran Canaria que se realiza a través de una única boca a 7 m de profundidad (salinidad del efluente entre 47 y 50 psu).

Para el análisis de la influencia en las comunidades bentónicas se recogen muestras de sedimento dos meses diferentes (invierno del 2008 y primavera del 2009) siempre después de la puesta en funcionamiento de la planta (operativa desde 1999) en tres estaciones de muestreo: lo más cerca posible del punto de muestreo (salinidad 45-48 psu), a 15 m de distancia del punto de vertido (salinidad de 38.5-40 psu) y a 30 m de este (salinidad de 36.6-36.8 psu) considerado como control.

Según los resultados de este estudio, las especies más abundantemente representadas pertenecen al grupo de los anfípodos (crustáceos) seguido de oligoquetos y poliquetos (anélidos). Las diferencias entre la abundancia total de especies, la estructura del grupo, y la densidad de especies en relación con la distancia al vertido varió según el año de muestreo. En cualquier caso la abundancia total en las inmediaciones del vertido al igual que la densidad de especies por área fue menor que a cierta distancia de este. No obstante los propios autores al observar una cierta variabilidad en el tamaño medio de las partículas del sedimento indican que estos resultados puede ser una acción combinada del incremento de salinidad con la variación natural del medio.



CEDEX

IV. Análisis de resultados y conclusiones

A la vista de estos resultados de las publicaciones resumidas en el punto anterior se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1.- A diferencia de la mayoría de publicaciones analizadas hasta este punto, todos estos trabajos han sido realizados con la toma de datos en la naturaleza en las inmediaciones de vertidos de plantas desaladoras proyectadas o en funcionamiento. A diferencia de lo que sucede en los ensayos de laboratorio donde todos los parámetros pueden ser controlados, en las medidas de campo resulta difícil diferenciar las modificaciones producidas por un único factor, como es la salinidad, ya que existen otros condicionantes bióticos y abióticos que pueden enmascarar los resultados. En estos trabajos, son los propios autores los que especifican que sus resultados han podido verse influenciados por variaciones espacio temporales que se dan de forma natural en el medio (heterogeneidad del sedimento, profundidad, época del año, etc) así como otros factores abióticos de carácter antropogénico (presencia de otros contaminantes, etc).

2.- Independientemente de lo mencionado en el párrafo anterior, todos los autores coinciden en señalar la influencia del incremento de salinidad en los ecosistemas bentónicos asociados a sustratos blandos. Los vertidos de salmuera producen en sus inmediaciones la modificación de la abundancia y la estructura de la comunidad y una disminución en la riqueza y diversidad de especies que se ven remplazadas por otras pocas oportunistas y más tolerantes a los cambios en la salinidad. Por lo general disminuyen los equinodermos, moluscos y crustáceos que se ven remplazados por ciertas especies de anélidos y nematodos.

3.- En cualquier caso, la afección del vertido en la estructura de las comunidades bentónicas tiene un carácter localizado, restringiéndose a las inmediaciones del vertido donde el incremento de salinidad es mayor y desapareciendo a medida que nos alejamos del punto de vertido. La extensión de la zona de afección dependerá por tanto de la efectividad del sistema de vertido para diluir el efluente.

4.- Por ello, se recomienda la aplicación de sistemas de vertido efectivos en los que se produzcan grandes diluciones en los primeros metros de vertido reduciendo de este modo la zona de afección en estas comunidades bentónicas.



6. RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Resumen

En un vertido de salmuera procedente de una planta desaladora la componente de las aguas de rechazo debida a las sustancias aportadas por el agua de alimentación es en principio poco preocupante, sobre todo cuando se vierte al mismo medio de donde se extrae el agua (como sucede cuando el agua se toma del mar) ya que no se añade ninguna carga contaminante al sistema. Lo que hay que tener en cuenta son los posibles impactos que se puedan producir como consecuencia de que se devuelven con concentraciones más elevadas. La concentración de las sustancias rechazadas por las membranas, como por ejemplo, las sales, aumentan en la misma proporción que la relación entre el caudal de toma y el caudal de rechazo.

Cuando el efluente llega al mar con mayor densidad que éste, tras la fase de intensa turbulencia generada por la descarga, en la que se produce una importante dilución (campo cercano), llega otra de tranquilización, en la que las diferentes masas de agua, cada una con su correspondiente grado de dilución, se van colocando sobre el fondo de forma estratificada según su densidad. A partir de este momento empieza la fase de campo lejano en la que la dilución se produce lentamente por la incorporación de agua del medio a través de la interfaz. Esta capa hiperdensa se esparce por el fondo con mayor o menor salinidad pudiendo afectar los ecosistemas bentónicos con los que se topa en su avance.

Para el control de estos vertidos y el establecimiento de normas de calidad se dispone actualmente de la Declaración de Impacto Ambiental (DIA), de la Autorización de Vertido (AV) y de la realización de estudios para determinar umbrales de tolerancia. Sin embargo, no existe ninguna normativa que regule específicamente los vertidos de las desaladoras ni se han establecido límites de emisión para el contaminante más significativo de un vertido de este tipo, esto es, el exceso de salinidad respecto a la del agua de mar.

Este parámetro sólo se menciona como objetivo de calidad en una norma estatal: el Real Decreto 345/1993, que en su anejo IV establece como condiciones imperativas que la variación de salinidad provocada por un vertido en las aguas para cría de moluscos afectadas por dicho vertido no deberá ser superior a un 10 por 100 de la salinidad medida en las aguas no afectadas.

Con el fin de avanzar en el establecimiento de criterios de calidad para el parámetro “exceso de salinidad” en función de la sensibilidad de los ecosistemas o comunidades afectadas, la DGCEAMN solicitó al CEDEX un estudio de los umbrales de tolerancia a los incrementos de salinidad de diversas especies marinas.

Con este trabajo se pretende dar respuesta a los siguientes objetivos específicos:

- Revisar los límites aplicados hasta ahora para las praderas de *C. nodosa* y *P. oceanica* para integrar los avances producidos durante los últimos años en el estudio de su umbral de tolerancia a los incrementos de salinidad.
- Analizar otras investigaciones para determinar los umbrales de tolerancia de otras especies de interés ecológico o económico (pesca, marisqueo, recolección de algas).
- Proponer criterios de calidad específicos para las praderas de *P. oceanica* y *C. nodosa* y para hábitats bentónicos de interés comercial y para aquellos incluidos en una zona con alguna figura de protección ambiental en cuya declaración hayan influido. Así



CEDEX

mismo, se pretende proponer un criterio de calidad de carácter general en cualquier punto situado fuera de la zona de mezcla.

Para ello, se ha realizado una exhaustiva búsqueda de artículos científicos publicados sobre los límites de tolerancia o efectos del incremento de salinidad en el medio a distintos organismos marinos. Estos organismos se han clasificado en cinco grupos basados en que dadas las características morfológicas de las especies que lo componen, pueden tener en principio distinto grado de vulnerabilidad frente a cambios en el ambiente:

- I. Fanerógamas marinas
- II. Macroinvertebrados bentónicos
- III. Peces
- IV. Algas
- V. Otros estudios

A partir de los artículos seleccionados (más de 80 publicaciones), por cada grupo de organismos se realizó una tabla resumen con la información más relevante de cada publicación. Una vez obtenidas estas tablas resumen, para un análisis global de los resultados, se seleccionaron las variables elegidas y estudiadas por la mayoría de los autores por su repercusión para determinar el umbral de tolerancia de las distintas especies.

Las repuestas obtenidas para estas variables se representaron gráficamente en función del incremento de salinidad (en algunos casos agrupados por intervalos) y comparadas con la respuesta en el control.

A partir de estos gráficos el siguiente paso fue determinar para cada uno de los grupos en los que se dividieron los estudios, el máximo incremento de salinidad tolerado por la mayoría de las especies en el que no se observan efectos importantes sobre la variable estudiada e identificando en cada caso, los organismos que no cumplen estos niveles para un análisis más detallado del estudio realizado.

Una vez establecida la salinidad máxima para la que no se observa respuesta negativa en los organismos, considerando las incertidumbres de la metodología del trabajo y aplicando el principio de precaución ambiental se proponen distintos niveles de protección en función de la sensibilidad de los organismos de diversos grupos taxonómicos al incremento de salinidad en el medio. Se han revisado los criterios de calidad existentes para las praderas de *P. oceanica* y *C. nodosa* y se proponen otros nuevos para hábitats bentónicos de interés comercial y para aquellos incluidos en una zona con alguna figura de protección ambiental en cuya declaración hayan influido. Así mismo, se propone un criterio de calidad de carácter general en cualquier punto situado fuera de la zona de mezcla.



6.2 Conclusiones

1. Independientemente de la comunidad a la que pertenezcan los organismos marinos, con la ejecución de este trabajo hemos podido comprobar que la tolerancia al incremento de salinidad y el establecimiento de sus límites va a depender en gran medida de otras variables (factores bióticos y abióticos) que dificultan el análisis e interpretación conjunta de los resultados obtenidos en cada estudio o publicación.

- I. **Influencia del grupo taxonómico.** Ya se ha mencionado que dadas las características morfológicas de las especies que componen un determinado grupo taxonómico, estas pueden tener en principio distinto grado de vulnerabilidad frente cambios en el ambiente; Un organismo bentónico sésil tiene a priori mayor posibilidad de verse afectado por un vertido de salmuera que se realice en su hábitat que un pez con elevada capacidad natatoria o que un organismo que vive sobre rocas o a una cierta distancia del fondo. Pero además se ha observado que determinadas comunidades son más sensibles a las variaciones en la salinidad que otras (los moluscos o los crustáceos son menos tolerantes a los incrementos de salinidad que las algas por ejemplo)
- II. **Influencia de la especie.** Si bien es cierto que determinados grupos taxonómicos son más vulnerables que otros, el umbral de tolerancia a los cambios en la salinidad del ambiente es específico de cada especie. Por ejemplo, mientras que *P. oceanica* es muy sensible a los cambios de salinidad, otras especies de fanerógamas marinas con las que convive, como *Z.marina*, son capaces de tolerar incrementos de salinidad muy elevados
- III. **Influencia de la edad-tamaño.** Durante las primeras etapas del desarrollo, aunque muchos organismos son morfológicamente muy diferentes (larvas de peces por ejemplo), se enfrentan a las mismas presiones para la supervivencia que los adultos. Debido a su diminuta talla e inmaduro desarrollo son más vulnerables a alteración del hábitat, cambios en la calidad del agua y presencia de contaminantes.

Además muchos invertebrados, cómo los crustáceos, durante el desarrollo larvario, pasan por varios estadios antes de alcanzar el adulto. El paso de una forma larvaria a la siguiente recibe el nombre de "muda". Durante este proceso el animal sufre importantes modificaciones (se desprende y abandona el caparazón que originalmente lo cubre, aumenta de tamaño y forma otro nuevo), lo que podría suponer un estrés adicional al producido por el incremento de salinidad enmascarando la vulnerabilidad de la especie a este parámetro.

- IV. **Influencia del tipo de efecto considerado.** Por lo general los procesos de regulación para mantener la presión osmótica del organismo consumen energía. Como en todos los procesos biológicos, la adaptación osmótica a las variaciones en la salinidad en el ambiente sólo se produce para un rango determinado o umbral de tolerancia. Superados estos niveles, los procesos de regulación requieren mayores esfuerzos energéticos lo que conlleva en primer lugar a una disminución en el crecimiento, o en la disminución de otros procesos metabólicos (tasa de fotosíntesis, reproducción, etc..) seguido por un daño en los tejidos que puede terminar con la muerte.

En la mayoría de los grupos analizados se ha comprobado que los valores de incrementos de salinidad que producen una respuesta negativa son menores cuando se analizan otras variables que no sean letales para los organismos. En el caso de los peces, por ejemplo, se ha observado como el incremento de salinidad al que el tamaño de las larvas se reduce en un 10% en relación con el tamaño en el control (EC10%) es mucho menor que para la tasa de supervivencia.



CEDEX

V. **Influencia del tipo/periodo de exposición.** Tanto el tiempo de exposición como la rapidez de los cambios de salinidad pueden influir en el grado de afección de los organismos. Cuando la variación en las condiciones del medio se realiza de forma gradual, los organismos marinos tienen mayor capacidad de aclimatación o incluso de adaptación a las nuevas condiciones del ambiente. Esta capacidad va a depender en cualquier caso de la tasa de variación. Pero además, muchos organismos, que durante la fase de exposición al tratamiento de salinidad ven reducida la respuesta a una variable no letal (como puede ser la tasa de fotosíntesis), si éste cesa antes de producir daños irreparables en los tejidos, son capaces de recuperar los valores iniciales de respuesta. Un ejemplo de la influencia del tiempo de exposición al contaminante son los resultados obtenidos con el molusco *Mytella Churrana*. En este estudio se obtuvo que la mayor afección de la salinidad en la tasa de supervivencia de organismos adultos se producía con una exposición directa y permanente al tratamiento de salinidad, disminuyendo la sensibilidad si se ha permitido la aclimatación, u disminuyendo aun más en el caso del test denominado de shock durante 6 horas en el que tras una exposición de 6 horas al tratamiento de salinidad los organismos fueron devueltos a la salinidad de aclimatación.

2. Los límites de tolerancia a la salinidad, expresados hasta el momento como valor “ S_{lim} ” máximo de la salinidad, deben ser tratados como **incrementos máximos de salinidad** ya sean incrementos absolutos “ Δs_{lim} ” o relativos “ r_{lim} ”

$$\Delta s_{lim} = (s_m - s_a)_{lim} \qquad r_{lim} = \frac{(s_m - s_a)_{lim}}{s_a}$$

El motivo fundamental que avala la utilización de incrementos para establecer estos límites se basa en que los efectos biológicos de la salinidad (y de otros parámetros) sobre los organismos vivos, suelen ser proporcionales a la variación relativa de los valores que dichos parámetros tienen en el medio receptor, razón por la que es frecuente encontrar en la normativa límites expresados en estos términos.

Este hecho queda claramente ilustrado en el estudio [55] realizado con el equinodermo *Apostichopus japonicus* en el que se analiza la influencia de la salinidad de aclimatación en la salinidad límite de supervivencia de los organismos. Para ello expone organismos aclimatados a distintas salinidades basándose en las condiciones ambientales de la zona de recolección de los individuos (25, 30 y 35 psu) a tratamientos de mayores concentraciones salinas. Los resultados indican que la salinidad crítica para la supervivencia es casi constante para las tres salinidades de aclimatación si se expresa los resultados como incrementos de salinidad (ΔS_{lim} varía entre 16 y 18 psu) mientras que es muy diferente si se expresa como valores absolutos (S_{lim} varía entre 43 y 51 psu). A partir de estos resultados se concluye que establecer valores absolutos de salinidad máxima puede conducir a una estimación errónea del umbral de tolerancia de una determinada especie.

Además, cabe mencionar que la sustitución de los valores absolutos por valores relativos o incrementos no implica que se reduzca por este hecho el nivel de protección. Por ejemplo, el límite absoluto de 38,5 psu correspondiente al percentil del 25% para la *P. oceánica* puede sustituirse por un incremento relativo límite de un 2,7%, que equivale al valor anterior para un agua típica de la costa mediterránea española, que tiene una salinidad de unas 37,5 psu.

Finalmente, entre las ventajas que avalan la utilización de incrementos para establecer estos límites destacamos que:



- El cálculo de la dilución necesaria con criterios de limitación del valor absoluto puede ser muy inadecuada (por exceso o por defecto) a causa de pequeños errores en la determinación de la salinidad del medio receptor. Un error de unas décimas de psu, que es normal cuando se utilizan equipos corrientes y metodologías simples de medición, puede hacer que la dilución necesaria calculada sea el doble o la mitad que la realmente necesaria. Sin embargo, el cálculo de la dilución necesaria con criterios de un incremento máximo de salinidad (absoluto o relativo) depende muy poco o nada de la salinidad del medio (ver Anejo II), con lo que se evita este problema.
- Durante el programa de vigilancia, el efecto combinado de la pequeña variabilidad espacial y temporal de la salinidad del medio receptor con las imprecisiones de los equipos de medida hacen que existan amplias zonas (kilómetros cuadrados) donde no es posible afirmar con seguridad si hay o no hay algún incremento de salinidad con respecto a la del medio receptor, lo que disminuye la eficacia del programa de vigilancia y lo encarece innecesariamente. Sin embargo, el incremento (absoluto o relativo) de salinidad en un punto cualquiera se calcula simplemente dividiendo el correspondiente incremento en el efluente (que a su vez puede calcularse de forma bastante precisa a partir del índice de conversión de la planta, ver Anejo II) por la dilución conseguida en el medio receptor⁶:

$$\Delta s = \frac{\Delta s_v}{S} \qquad r = \frac{r_v}{S}$$

Y las diluciones se pueden correlacionar bien con las condiciones de vertido (sobre todo para el campo cercano) y se pueden medir con precisión tanto en laboratorio como en campo si se marca el efluente con un trazador que no exista en el medio receptor.

En cuanto a la relación entre expresar el criterio de calidad como incremento absoluto (Δs_{lim}) o como incremento relativo (r_{lim}), resulta casi indiferente. Ambas alternativas representan niveles de protección casi idénticos. El primero parece más intuitivo, pero el cálculo de la dilución necesaria está ligeramente afectado por los errores de la determinación de la salinidad del medio, mientras que con el segundo desaparece dicha influencia porque puede calcularse la dilución necesaria sin necesidad de determinar la salinidad del medio (ver Anejo II).

3. Los experimentos analizados se han realizado manteniendo constante la salinidad durante toda la duración del ensayo. En la realidad, la salinidad medida en la zona de afección de los vertidos es variable debido a la turbulencia generada durante la descarga (campo cercano) y a la variabilidad de las corrientes en el medio receptor (campo lejano), razón por la cual los criterios de calidad suelen expresarse en términos estadísticos. Con los resultados de los ensayos donde la salinidad se mantiene constante lo que se obtiene es la salinidad que no puede superarse el 100% del tiempo ($s_{lim,100}$). Imponiendo este valor como $s_{lim,5}$ ó $s_{lim,25}$ se están estableciendo márgenes de seguridad adicionales.

Este hecho queda demostrado de nuevo en el trabajo [37] realizado con *Mytella Churrana* en el que se observa que el incremento de salinidad límite para el test de shock permanente (que no debería superarse el 100% del tiempo) debería ser inferior a 9 psu ($\Delta s_{lim,100} < 9 \text{ psu}$), mientras que para el test de shock durante 6 h (un 1 % del tiempo total que dura el experimento) este límite asciende a 14 psu ($\Delta s_{lim,1} = 14 \text{ psu}$).

⁶ Para calcular la salinidad absoluta, además de la dilución es necesario conocer la salinidad del medio receptor.



CEDEX

4. Independientemente de las limitaciones del presente informe causadas por la heterogeneidad de los estudios analizados y la influencia de un gran número de factores que condicionan la tolerancia de los organismos marinos a los incrementos de salinidad y que no han sido considerados para el tratamiento conjunto de los resultados, en este punto se presentan los principales resultados obtenidos para cada grupo de organismos en los que se ha dividido el estudio.

I. **Fanerógamas marinas**

- *Posidonia oceanica*. Teniendo en cuenta que la salinidad mínima de los tratamientos ($\Delta s=1.5$ psu) a los que fue sometida la planta superaban los umbrales de tolerancia establecidos para estas plantas ($s_{lim,25}=38.5$ psu, $\Delta s_{lim,5}=1$ psu) y que independientemente de la variable estudiada estos incrementos suponen reducción significativa de la respuesta de la planta, no existe información experimental suficiente para revisar los criterios de calidad establecidos por las DIAs de los últimos años.
- *Cymodocea nodosa*: De forma general pueden distinguirse tres zonas (aunque con algunas excepciones) en las que el incremento de salinidad afecta de diferente manera a la variable estudiada:
 - a) Una primera zona hasta incrementos de salinidad respecto al control de 2 psu, en la que no se observa ninguna influencia de este incremento de salinidad ni sobre la tasa de supervivencia ni sobre la de crecimiento.
 - b) En la segunda zona, con incrementos de salinidad entre 2 y 6.8 psu, en la que se observa algún tipo de efecto de la salinidad en los tratamientos en comparación con los resultados en el control, no muy pronunciado pero evidente (tasas de supervivencia del 90% o mayores).
 - c) Por último, incrementos de salinidad iguales o mayores de 7 psu provocan diferencias pronunciadas entre los tratamientos de salinidad y los controles, llegando incluso a tasas de supervivencia por debajo del 80%.

De estos datos se concluye que, actualmente existe información experimental suficiente para revisar los criterios de calidad establecidos por las DIAs de los últimos años.

- *Otras fanerógamas*: El incremento de salinidad medio tolerado por estas especies de fanerógamas (distintas de la *Cymodocea* y de la *Posidonia*) ronda los 20 psu. En consecuencia podemos afirmar que son capaces de tolerar elevados incrementos de salinidad y por tanto son poco vulnerables a la afección de un vertido de salmuera. No obstante existen importantes excepciones que deben ser remarcadas como es el caso de *Zostera noltii* con una tolerancia al incremento de salinidad moderado (3,5 psu respecto a la salinidad natural del medio según el estudio) y que podría verse afectada por los vertidos de salmuera al medio marino.

II. **Macroinvertebrados bentónicos**

- *Moluscos*: A la vista de los resultados obtenidos podemos concluir que en los primeros estadios del ciclo de vida de los moluscos, la tasa de supervivencia se ve afectada con incrementos de salinidad del orden de 2 psu (reducción media del orden del 10% en relación con la supervivencia en el control). En cambio, organismos adultos (al menos de bivalvos) no ven afectada de manera significativa la tasa de supervivencia hasta incrementos de salinidad mayores a 5 psu.



- **Crustáceos:** De forma generalizada podemos concluir que al igual de lo que sucede en moluscos, incrementos de salinidad de 5 psu no parece afectar a la tasa de supervivencia de adultos para las especies estudiadas. En el caso de larvas sin embargo, el proceso de muda podría influir en la tolerancia de los organismos a la salinidad durante las primeras fases de su desarrollo siendo más sensibles que en el caso de organismos adultos. Del mismo modo, el incremento de salinidad en el que se observa algún tipo de afección en distintas especies, independientemente de su desarrollo, parece ser menor cuando se analizan otras variables como la tasa de crecimiento.
- **Equinodermos:** En el caso este grupo, el incremento de salinidad máximo tolerado por la mayoría de las especies analizadas para la supervivencia de embriones, larvas o adultos de equinodermos es de 6 psu, mientras que para la fertilidad este incremento asciende a 8 - 10 psu.

Recordamos que según el Real Decreto 345/1993, de 5 de marzo, por el que se establecen las normas de calidad de las aguas y de la producción de moluscos y otros invertebrados marinos vivos, *la variación de salinidad provocada por un vertido, en las aguas para cría de moluscos afectadas por dicho vertido no deberá ser superior en más de un 10 por 100 la salinidad medida en las aguas no afectadas*. Para el caso del Mediterráneo, con una salinidad media de 37.5 psu el incremento producido por un vertido no deberá ser superior a 3.75 psu.

III. Peces

Según los resultados de las publicaciones, independientemente de que se trate de larvas o embriones de distintas especies, estos son capaces de tolerar mayores incrementos de salinidad que los invertebrados bentónicos y por tanto son menos vulnerables a la afección de un vertido de salmuera. La tasa de supervivencia no se reduce de manera significativa hasta incrementos de salinidad superiores a 10 psu para la mayoría de las especies llegando algunas a sobrevivir incluso con incrementos de salinidad superiores a 15 psu. Este límite, se reduce a un incremento máximo de 5 psu cuando se analiza la tasa de crecimiento aunque este último dato ha sido obtenido a partir de un reducido número de especies.

IV. Algas marinas

Se puede confirmar que las algas son más tolerantes a los incrementos de salinidad que el resto de organismos estudiados siendo menos susceptibles a los impactos ambientales derivados del vertido de salmuera de plantas desaladoras. Se demuestra que incrementos de salinidad de hasta 10 psu no producen efectos crónicos importantes en las algas.

V. Otros estudios

Los vertidos de salmuera producen en sus inmediaciones la modificación de la abundancia y la estructura de la comunidad y una disminución en la riqueza y diversidad de especies que se ven remplazadas por otras pocas oportunistas y más tolerantes a los cambios en la salinidad. Por lo general disminuyen los equinodermos, moluscos y crustáceos que se ven remplazados por ciertas especies de anélidos y nematodos. En cualquier caso, la afección del vertido en la estructura de las comunidades bentónicas tiene un carácter localizado, restringiéndose a las inmediaciones del vertido donde el incremento de salinidad es mayor y desapareciendo a medida que nos alejamos del punto de vertido.

6.3 Recomendaciones

Analizados el conjunto de los resultados, y considerando que;

- No todas las especies que han sido estudiadas y consideradas para el análisis global de los resultados se distribuyen por el litoral español, ni se han encontrado datos para otras especies típicas del Mediterráneo y Canarias que podrían ser más vulnerables que las mencionadas,
- Los umbrales de tolerancia descritos en el apartado anterior han sido en su mayoría obtenidos del análisis de la tasa de supervivencia ya que no se ha obtenido por lo general suficientes datos para determinar este umbral con variables menos severas pero también importantes, como puede ser la tasa de crecimiento, pero es lógico suponer que en estos casos el efecto sea apreciable con incrementos de salinidad menores, que la tasa de mortalidad. Además una reducción en la tasa de supervivencia puede producir importantes efectos ecológicos sobre los ecosistemas,
- La heterogeneidad tanto de los estudios, con las peculiaridades que definen cada uno, como de los resultados, plantea una serie de incertidumbres que requieren una interpretación cautelosa de los rangos de salinidad tolerados,
- La trascendencia ecológica, económica e incluso social que pueden tener los márgenes de seguridad adoptados, tanto los excesivamente elevados (incrementos de coste innecesarios, balance ambiental sesgado) como los excesivamente escasos (perjuicios para la pesca, marisqueo o la acuicultura, daños ecológicos),
- El margen de seguridad adicional aplicado con la expresión de los criterios de calidad en términos estadísticos. Mientras que con los resultados de los ensayos se obtiene la salinidad que no puede superarse el 100% del tiempo ($S_{lim,100}$), las criterios de calidad se recomiendan a continuación se obtienen imponiendo este valor como $S_{lim,5}$ ó $S_{lim,25}$,
- La existencia de una normativa estatal que establece como condiciones imperativas que la variación de salinidad provocada por un vertido en las aguas para cría de moluscos y otros invertebrados afectadas por dicho vertido no deberá ser superior a un 10 por 100 de la salinidad medida en las aguas no afectadas (Real Decreto 345/1993),

se formulan las siguientes recomendaciones:

1. Se propone adoptar, como criterios de calidad, cualquiera de las dos alternativas de límites para el incremento de salinidad resumidos en la siguiente tabla:

NIVEL DE PROTECCIÓN	Hábitat	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2	
		$\Delta s_{25,lim}$	$\Delta s_{5,lim}$	$r_{25,lim}$	$r_{5,lim}$
I	<i>Posidonia oceanica</i>	1	2.5	0,027	0,067
II	Moluscos y crustáceos de interés comercial	2.5	5	0.067	0.133
III	<i>Cymodocea nodosa</i> y <i>Z.noltti</i>	3	6	0,081	0,162
IV	Equinodermos y peces planos de interés comercial	5	8	0.133	0.213
	Resto de fanerógamas				
V	Hábitats en zonas protegidas	La que corresponda a los hábitats presentes en la zona. Como mínimo el nivel de protección IV en toda la zona protegida			

Donde; $\Delta s_{lim} = (s_m - s_a)_{lim}$ $r_{lim} = \frac{(s_m - s_a)_{lim}}{s_a}$.

y siendo, $\Delta s_{25,lim}$: Valor de Δs_{lim} que no debe sobrepasarse más de un 25% del tiempo,

$\Delta s_{5,lim}$: Valor de Δs_{lim} que no debe sobrepasarse más de un 5% del tiempo,

$r_{25,lim}$: Valor de r_{lim} que no debe sobrepasarse más de un 25% del tiempo, y

$r_{5,lim}$: Valor de r_{lim} que no debe sobrepasarse más de un 5% del tiempo.

Estos valores deberían revisarse periódicamente para incorporar los avances que se vayan produciendo en el conocimiento de los efectos de los vertidos de salmueras sobre estos organismos.

Dado que cualquiera de las dos alternativas anteriores suponen niveles de protección casi idénticos, se propone que se permita al promotor elegir la alternativa a aplicar en cada caso.

2. Aunque mediante vertidos a través de emisarios submarinos es posible conseguir que los chorros ascendentes al caer sobre el fondo cumplan ya algunas o todas las condiciones anteriores, se propone que, salvo en casos de extrema necesidad constructiva o de costes desproporcionados que deben justificarse adecuadamente, se elija el punto de vertido (emergido o sumergido) de forma que la zona de mezcla (campo cercano) no se superponga con ninguno de los hábitats mencionados en la tabla anterior.

3. Se propone que, con carácter general, fuera de la zona de mezcla (campo cercano) el incremento de salinidad no supere en ningún momento las 10 psu ($\Delta s_{lim,0}=10$ psu) o bien que el incremento relativo de salinidad sea siempre inferior a 0.27 ($r_{lim,0}=0.27$)⁷.

⁷ Para los hábitats mencionados en la tabla del punto 1, esto representa una condición adicional.

Suponiendo una desaladora de osmosis inversa con un rendimiento del 45%, una dilución del vertido de 3.1 sería suficiente para conseguir no superar estos límites. Según datos obtenidos en el CEDEX con modelos físicos y con la ejecución de campañas de campo en plantas desaladoras en funcionamiento en España, incluso con los mecanismos menos efectivos que se utilizan actualmente en estas plantas, como son los vertidos desde la línea de costa (playa o acantilado), es fácil conseguir que al final del campo cercano ya se produzcan las diluciones suficientes para no superar dichos límites.

Madrid, diciembre de 2012

La Autora del Informe,



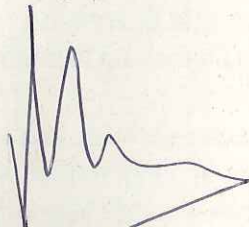
Ana Álvarez García
Licenciada en Biología Marina
Investigadora

Examinado y conforme
El Responsable de la Actuación



Antonio Ruiz Mateo
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Director de Medio Marino

Vº Bº



D. José María Grassa Garrido
Director del Centro de Estudios de Puertos y Costas

ANEJOS



ANEJO I

LISTADO DE REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



ANEJO I: LISTADO DE REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Fernandez-Torquemada, Y., and Sanchez-Lizaso, J.L. (2005) Effects of salinity on leaf growth and survival of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 320, 57-63.
- [2] Ruiz, J.M., Marin-Guirao, L., and Sandoval-Gil, J.M. (2009) Responses of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* to in situ simulated salinity increase. *Botanica Marina* 52, 459-470.
- [3] Gacia, E., Invers, O., Manzanera, M., Ballesteros, E., and Romero, J. (2007) Impact of the brine from a desalination plant on a shallow seagrass (*Posidonia oceanica*) meadow. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 72, 579-590.
- [4] Sanchez-Lizaso, J.L., Romero, J., Ruiz, J., Gacia, E., Buceta, J.L., Invers, O., Torquemada, Y.F., Mas, J., Ruiz-Mateo, A., and Manzanera, M. (2008) Salinity tolerance of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*: recommendations to minimize the impact of brine discharges from desalination plants. *Desalination* 221, 602-607.
- [5] Sandoval-Gil, J.M., Marín-Guirao, L., Ruiz, J.M., Bernardeau-Esteller, J., García-Muñoz, R., and J.G., A. (2010) Changes in water relations and osmolyte concentrations in the Mediterranean seagrasses *Posidonia oceanica* and *Cymodocea nodosa* in response to hypersalinity stress. In: *Proceedings of the 4th Mediterranean Symposium on Marine Vegetation (Yasmine-Hammamet, 2-4 December 2010)*.
- [6] Sandoval-Gil, J.M., Marín-Guirao, L., J., B.-E., Ruiz, J.M., and Sánchez-Lizado, J.L. (2010) Effect of hypersaline stress on photosynthesis, growth and survival of the Mediterranean seagrasses *Posidonia oceanica* and *Cymodocea nodosa*. *Proceedings of the 4th Mediterranean Symposium on Marine Vegetation (Yasmine-Hammamet, 2-4 December 2010)*.
- [7] Sandoval-Gil, J., Marín-Guirao, L., and Ruiz, J. (2012) Tolerance of Mediterranean seagrasses (*Posidonia oceanica* and *Cymodocea nodosa*) to hypersaline stress: water relations and osmolyte concentrations. *Marine Biology* 159, 1129-1141.
- [8] Alfonso Avellán, S., Sandoval Gil, J.M., Marín Guirao, L., Bernardeau Esteller, J., Quiles Ródenas, M.J., García Muñoz, R., and Ruiz, M.J. (2010) Measuring the effects of hypersaline stress on seagrass (*Posidonia oceanica*) photosynthesis using fluorescence imaging. In: *XVI Simposio Ibérico de Estudios de Biología Marina. Alicante (España)*.
- [9] Marin-Guirao, L., Sandoval-Gil, J.M., Ruiz, J.M., and Sanchez-Lizaso, J.L. (2011) Photosynthesis, growth and survival of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* in response to simulated salinity increases in a laboratory mesocosm system. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 92, 286-296.
- [10] Fernández Torquemada, Y., and Sánchez Lizaso, J.L. (2006) Effects of salinity on growth and survival of *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson and *Zostera noltii* Hornemann. *Biología Marina Mediterránea*. 13, 46-47.
- [11] Fernandez-Torquemada, Y., and Sanchez-Lizaso, J.L. (2011) Responses of two Mediterranean seagrasses to experimental changes in salinity. *Hydrobiologia* 669, 21-33.



CEDEX

- [12] Pages, J.F., Perez, M., and Romero, J. (2010) Sensitivity of the seagrass *Cymodocea nodosa* to hypersaline conditions: A microcosm approach. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 386, 34-38.
- [13] Portillo Hahnafeld, E., Ruiz Fernández, J.M., Marín Guirao, L., and Ruiz de la Rosa, M. (2012) Evaluación del efecto de la salmuera en la fanerógama marina *Cymodocea nodosa*: Toxicidad crónica en mesocosmos In: Informa Técnico: Proyecto del Plan Nacional de Investigación: N° EXP. 004/RN08/03.3 (Proyecto Venturi).
- [14] Ruiz de la Rosa, M. (2012) Evaluación del efecto de la salmuera en la fanerógama marina *Cymodocea nodosa*: Toxicidad aguda en mesocosmos. . In: Informe Técnico: Proyecto del Plan Nacional de Investigación: N° EXP. 004/RN08/03.3 (Proyecto Venturi).
- [15] Ruiz de la Rosa, M. (2012) Evaluación del efecto de la salmuera en la fanerógama marina *Cymodocea nodosa*: Experimento in situ In: Informe Técnico: Proyecto del Plan Nacional de Investigación: N° EXP. 004/RN08/03.3 (Proyecto Venturi).
- [16] Biebl, R., and McRoy, C.P. (1971) Plasmatic Resistance and Rate of Respiration and Photosynthesis of *Zostera-marina* at Different Salinities and Temperatures. *Marine Biology* 8, 48-56.
- [17] Ralph, P.J. (1998) Photosynthetic responses of *Halophila ovalis* (R. Br.) Hook. f. to osmotic stress. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 227, 203-220.
- [18] Torquemada, Y.F., Durako, M.J., and Lizaso, J.L.S. (2005) Effects of salinity and possible interactions with temperature and pH on growth and photosynthesis of *Halophila johnsonii* Eiseman. *Marine Biology* 148, 251-260.
- [19] Dawes, C.J., Lobban, C.S., and Tomasko, D.A. (1989) A Comparison of the Physiological Ecology of the Seagrasses *Halophila-deciapiens* ostenfeld and *Halophila-johnsonii* eiseman from Florida. *Aquatic Botany* 33, 149-154.
- [20] McMillan, C., and Moseley, F.N. (1967) Salinity Tolerances of 5 Marine Spermatophytes of Redfish Bay Texas. *Ecology* 48, 503-&.
- [21] Berns, D.M. (2003) Physiological responses of *Thalassia testudinum* and *Ruppia maritima* to experimental salinity levels. [Tampa, Fla.] : University of South Florida.
- [22] Koch, M.S., Schopmeyer, S.A., Kyhn-Hansen, C., Madden, C.J., and Peters, J.S. (2007) Tropical seagrass species tolerance to hypersalinity stress. *Aquatic Botany* 86, 14-24.
- [23] Motwani, M.P. (1956) Experimental and ecological studies on the adaptation of *Mytilus edulis* L. to salinity fluctuations. *Proc. natl Inst. Sci. India*, pp. 227-246.
- [24] Alagarwami, K., and Victor, A.C.C. (1976) Salinity tolerance and rate of filtration of the pearl oyster *Pinctada fucata*. MBAI.
- [25] Nell, J.A., and Gibbs, P.J. (1986) Salinity tolerance and absorption of l-methionine by some Australian bivalve mollusks. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research* 37, 721-727.



- [26] Iso, S., Suizu, S., and Maejima, A. (1994) The lethal effect of hypertonic solutions and avoidance of marine organisms in relation to discharged brine from a desalination plant. *Desalination* 97, 389-399.
- [27] Sen, H. (2005) Incubation of European Squid (*Loligo vulgaris Lamarck*, 1798) eggs at different salinities. *Aquaculture Research* 36, 876-881.
- [28] Taylor, J.J., Southgate, P.C., and Rose, R.A. (2004) Effects of salinity on growth and survival of silver-lip pearl oyster, *Pinctada maxima*, Spat. *Journal of Shellfish Research* 23.
- [29] Le Page, S.D. (2005) Salinity tolerance investigations: a supplemental report for the Carlsbad, C.A.: Desalination project, prepared por Poseidom Resources by M-REP Consulting, Carlsbad, C.A.
- [30] Billiton, BH. (2009) Olympic Dam Expansion Draft Environmental Impact Statement.
- [31] Services, G. (2006) Effects of RO brine on the development of giant cuttlefish (*Sepia apama*) embryos. Statement, O.D.E.D.E.I. ed.
- [32] Ltd, H.P. (2006) Ecotoxicity of effluent from the proposed Olympic Dam desalination plant. Statement, O.D.E.D.E.I. ed.
- [33] Services, G. (2008) The provision of reverse osmosis brine toxicity testing. Statement, O.D.E.D.E.I. ed.
- [34] Voutchkov, N. (2009) Salinity tolerance evaluation methodology for desalination plant discharge. *Desalination and Water Treatment* 1, 68-74.
- [35] Quintino, V., Rodrigues, A.M., Freitas, R., and Re, A. (2008) Experimental biological effects assessment associated with on-shore brine discharge from the creation of gas storage caverns. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 79, 525-532.
- [36] Dupavillon, J.L., and Gillanders, B.M. (2009) Impacts of seawater desalination on the giant Australian cuttlefish *Sepia apama* in the upper Spencer Gulf, South Australia. *Marine Environmental Research* 67, 207-218.
- [37] Yuan, W., Walters, L.J., Schneider, K.R., and Hoffman, E.A. (2010) Exploring the survival threshold: a study of salinity tolerance of the nonnative mussel *Mytella charruana*. *Journal of Shellfish Research* 29, 415-422.
- [38] Deschaseaux, E., Taylor, A., and Maher, W. (2011) Measure of stress response induced by temperature and salinity changes on hatched larvae of three marine gastropod species. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 397, 121-128.
- [39] Consultants, A. (1992) Effects of hyper-saline water on survival of *Olivella pycna* and *Dendraster excentricus* to EIP Associates, Pasadena, California
- [40] Gross, W.J. (1957). An analysis of response to osmotic stress in selected decapod crustacea. *Biological Bulletin* 112, 43-62.
- [41] Coffin, H.G. (1958) The laboratory culture of *Pagurus samuelis* (Stimpson) (Crustacea, Decapoda). Walla Walla College, Dept. of Biological Sciences.



CEDEX

- [42] Cintron, G., Maddux, W.S., and Burkhold, Pr. (1970). Some consequences of brine pollution in bahia-fosforescente, puerto-rico. *Limnology and Oceanography* 15, 246-&.
- [43] Bookhout, C.G. (1972) The effect of salinity on molting and larval development of *Pagurus alatus Fabricus* reared in the laboratory. Battaglia, B. (Ed.). Fifth European Marine Biology Symposium., 173-187.
- [44] Richard H, C. (1975) Chapter 6. Biological Impact of a Large-Scale Desalination Plant at Key West, Florida. In: Elsevier Oceanography Series. Johannes, E.J.F.W.a.R.E. ed.: Elsevier, pp. 99-153.
- [45] Ramasamy, A., and Paul Pandian, A. (1985) Environmental Physiology of the Prawn *Penaeus (Melicertus) latisulcatus* In: First Intl. Conf. on the culture of penaeid prawns/shrimp SEAFDEC, Philippines.
- [46] Blaszkowski, C., and Moreiera, G.S. (1986) Combined effects of temperature and salinity on the survival and duration of larval states of *Pagurus criticornis*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 103, 77-86.
- [47] Wu, J. (1990) Environmental factors affecting the survival and growth of Western King Prawn, *Penaeus latisulcatus*, under aquaculture conditions in Spencer Gulf, South Australia. University of Adelaide.
- [48] Pillard, D.A., DuFresne, D.L., Tietge, J.E., and Evans, J.M. (1999) Response of mysid shrimp (*Mysidopsis bahia*), sheepshead minnow (*Cyprinodon variegatus*), and inland silverside minnow (*Menidia beryllina*) to changes in artificial seawater salinity. *Environmental Toxicology and Chemistry* 18, 430-435.
- [49] Kumlu, M., Eroldogan, O.T., and Saglamtimur, B. (2001) The effects of salinity and added substrates on growth and survival of *Metapenaeus monoceros* (Decapoda : Penaeidae) post-larvae. *Aquaculture* 196, 177-188.
- [50] Minh Sang, H., and Fotedar, R. (2004) Growth, survival, haemolymph osmolality and organosomatic indices of the western king prawn (*Penaeus latisulcatus* Kishinouye, 1896) reared at different salinities. *Aquaculture* 234, 601-614.
- [51] Zacharia, S., and Kakati, V.S. (2004) Optimal salinity and temperature for early developmental stages of *Penaeus merguensis* De man. *Aquaculture* 232, 373-382.
- [52] Romano, N., and Zeng, C.S. (2006) The effects of salinity on the survival, growth and haemolymph osmolality of early juvenile blue swimmer crabs, *Portunus pelagicus*. *Aquaculture* 260, 151-162.
- [53] Samuel, N.J., and Soundarapandian, P. (2010) Effect of Salinity on the Growth, Survival and Development of the Commercially Important Portunid Crab Larvae of *Portunus sanguinolentus* (Herbst). *Current Research Journal of Biological Sciences* 2, 286-293.
- [56] Holliday, F.G.T., and Blaxter, J.H.S. (1960) The effects of salinity on the developing eggs and larvae of the herring. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 39, 591-603



- [57] Lee, C.S., Hu, F., and Hirano, R. (1981) Salinity tolerance of fertilized-eggs and larval survival in the fish *Sillago-sihama*. Marine Ecology-Progress Series **4**.
- [58] Swanson, C. (1998) Interactive effects of salinity on metabolic rate, activity, growth and osmoregulation in the euryhaline milkfish (*Chanos chanos*). Journal of Experimental Biology **201**.
- [59] Shi, Z., Huang, X., Fu, R., Wang, H., Luo, H., Chen, B., Liu, M., and Zhang, D. (2008) Salinity stress on embryos and early larval stages of the pomfret *Pampus punctatissimus*. Aquaculture **275**.
- [60] Zhang, G., Shi, Y., Zhu, Y., Liu, J., and Zang, W. (2010) Effects of salinity on embryos and larvae of tawny puffer *Takifugu flavidus*. Aquaculture **302**.
- [61] Abdo de la Parra, M.I., Rodríguez-Ibarra, L.E., Velasco-Blanco, G., García-Aguilar, N., and González-Rodríguez, B. (2011) Evaluación del efecto de la salinidad sobre la incubación de huevos y eclosión de larvas del pargo famenco (*Lutjanus guttatus*) Ciencia Pesquera **19**, 29-34.
- [63] Clancy, D.M.W.a.C.W. (1937) The Effect of Salinity upon the Growth of Eggs of *Fucus furcatus*. Biological Bulletin **73**, 552-556.
- [64] Bird, N.L., Chen, L.C.M., and McLachlan, J. (1979) Effects of temperature, light and salinity on growth in culture of *Chondrus crispus*, *Furcellaria lumbricalis*, *Gracilaria tikvahiae* (Gigartinales, Rhodophyta), and *Fucus serratus* (Fucales, Phaeophyta). Botanica Marina **22**, 521-527.
- [65] Khaleafa, A., and Shaalan, S. (1979-12-25) The interaction of salinity and temperature on the growth of *Caulerpa prolifera* (FoerskÅl) lamouroux.
- [66] Macler, B.A. (1988) Salinity Effects on Photosynthesis, Carbon Allocation, and Nitrogen Assimilation in the Red Alga, *Gelidium coulteri*. Plant Physiology **88**, 690-694.
- [62] Kirst, G.O. (1990) Salinity tolerance of eukaryotic marine algae. Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. **41**, 21-53.
- [67] Back, S., Collins, J.C., and Russell, G. (1992) Effects of salinity on growth of Baltic and Atlantic *Fucus vesiculosus*. British Phycological Journal **27**, 39-47.
- [68] Einav, R., Breckle, S. and Beer, S. (1995) Ecophysiological adaptation strategies of some intertidal marine macroalgae of the Israeli Mediterranean coast. Marine Ecology Progress Series **125**, 219-228.
- [69] Barry, G.C., and Woelkerling Wm, J. (1995) Non-geniculate Species of Corallinaceae (Corallinales, Rhodophyta) in Shark Bay, Western Australia: Biodiversity, Salinity Tolerances and Biogeographic Affinities. In: Botanica Marina, p. 135.
- [70] Wong, S.L., and Chang, J. (2000) Salinity and light effects on growth, photosynthesis, and respiration of *Grateloupia filicina* (Rhodophyta). Aquaculture **182**, 387-395.
- [71] Kaliaperumal, N., Ezhilvalavan, R., and Ramalingam, J.R. (2001) Studies on salinity tolerance and acclimatization of some commercially important seaweeds. Seaweed Research and Utilisation **23**, 47-53.
- [72] Raikar, S.V., Iima, M., and Fujita, Y. (2001) Effect of temperature, salinity and light intensity on the growth of *Gracilaria* spp. (Gracilariales, Rhodophyta) from Japan, Malaysia and India. Indian Journal of Geo-Marine Sciences (IJMS) **30**, 98-104.



CEDEX

- [73] Wilson, S., Blake, C., Berges, J.A., and Maggs, C.A. (2004) Environmental tolerances of free-living coralline algae (maerl): implications for European marine conservation. *Biological Conservation* **120**, 279-289.
- [74] Mansilla, A., Palacios, M., and Aguilar, S. (2004) Efecto de la salinidad en el desarrollo inicial de *Sarcothalia crispata* (bory) Leister (Rhodophyta, Gigartinales) bajo condiciones de laboratorio. *Anales Instituto Patagonia (Chile)* **32**, 13-233.
- [75] Jayasankar, R. (2005) Effect of salinity on physiology of *Gracilaria spp.* (Gigartinales, Rhodophyta). *Seaweed Research and Utilisation* **27**, 19-24.
- [76] Eggert, A., Nitschke, U., West, J.A., Michalik, D., and Karsten, U. (2007) Acclimation of the intertidal red alga *Bangiopsis subsimplex* (Stylonematophyceae) to salinity changes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **343**.
- [77] Martínez-Daranas, B.R. (2007) Características y estado de conservación de los pastos marinos en áreas de interés del archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba. Instituto De Oceanología: Facultad de Biología, Universidad de la Habana.
- [78] Nygard, C.A., and Dring, M.J. (2008) Influence of salinity, temperature, dissolved inorganic carbon and nutrient concentration on the photosynthesis and growth of *Fucus vesiculosus* from the Baltic and Irish Seas. *European Journal of Phycology* **43**, 253-262.
- [79] Steyn, P.P. (2009) The Ecophysiology of *Gelidium Pristoides* (Turner) Kuetzing: Towards Commercial Cultivation. Faculty of Science at the Nelson Mandela Metropolitan University.
- [80] Choi, T.S., Kang, E.J., Kim, J.H., and Kim, K.Y. (2010) Effect of salinity on growth and nutrient uptake of *Ulva pertusa* (Chlorophyta) from an eelgrass bed. *ALGAE* **25**, 17-26.
- [81] Hayashi, L., Faria, G.M., Nunes, B., Zitta, C., Scariot, L., Rover, T., Felix, M.L., and Bouzon, Z. (2011) Effects of salinity on the growth rate, carrageenan yield, and cellular structure of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) cultured in vitro. *Journal of Applied Phycology* **23**, 439-447.
- [82] Castriota, L., Beltrano, Ç.M., Giambalvo, O., Vivona, P., and Sunseri, G. (2001) A one-year study of the effects of a hyperhaline discharge from a desalination plant on the zoobenthic communities in the Ustica Island Marine Reserve (Southern Tyrrhenian Sea) In: 36 CIESM Monaco
- [83] Raventos, N., Macpherson, E., and García-Rubiés, A. (2006) Effect of brine discharge from a desalination plant on macrobenthic communities in the NW Mediterranean. *Marine Environmental Research* **62**, 1-14.
- [84] Del-Pilar-Ruso, Y., De-la-Ossa-Carretero, J.A., Gimenez-Casaldueiro, F., and Sanchez-Lizaso, J.L. (2008) Effects of a brine discharge over soft bottom Polychaeta assemblage. *Environmental Pollution* **156**, 240-250.
- [85] Riera, R., Tuya, F., Ramos, E., Rodríguez, M., and Monterroso, Ó. (2012) Variability of macrofaunal assemblages on the surroundings of a brine disposal. *Desalination* **291**, 94-100.



ANEJO II

CÁLCULO DEL INCREMENTO DE SALINIDAD DEL EFLUENTE Y DE LA DILUCIÓN NECESARIA PARA CUMPLIR LOS CRITERIOS DE CALIDAD

ANEJO II: CÁLCULO DEL INCREMENTO DE SALINIDAD DEL EFLUENTE Y DE LA DILUCIÓN NECESARIA PARA CUMPLIR LOS CRITERIOS DE CALIDAD

1. Cálculo del incremento de salinidad del efluente

Resulta fácil calcular la salinidad del efluente de una planta desaladora a partir de la salinidad del agua de captación y de los caudales de operación. En efecto, llamando Q al caudal, s a la salinidad y designando por los subíndices a , p y e a las aguas bruta (ambiental), producto y de rechazo (efluente) respectivamente, las expresiones de conservación de las masas de agua (supuesta incompresible) y de la sal toman la forma:

$$Q_a = Q_p + Q_e$$

$$s_a Q_a = s_p Q_p + s_e Q_e$$

Utilizando la definición de *índice de conversión* expresado en tanto por uno (fracción del caudal de toma que se convierte en agua producto):

$$R = Q_p / Q_a$$

Se deduce fácilmente que

$$s_e = (s_a - s_p \cdot R) / (1 - R)$$

Teniendo en cuenta que habitualmente $s_p \ll s_a$, se tiene que:

$$s_e \approx s_a / (1 - R)$$

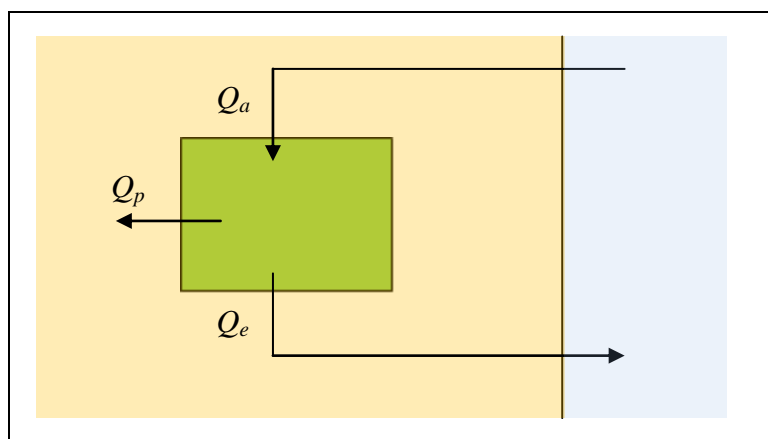
que también puede expresarse como

$$s_e / s_a \approx 1 / (1 - R)$$

o como

$$(s_e - s_a) / s_a = \Delta s_e / s_a = s_e / s_a - 1 \approx R / (1 - R)$$

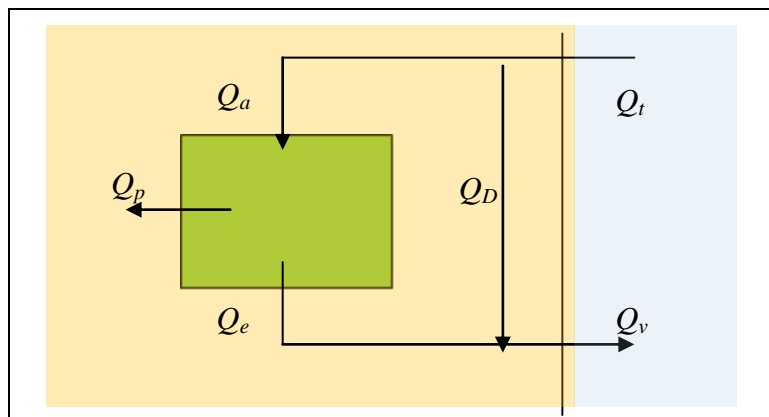
O sea, tanto la **salinidad relativa del efluente** (s_e / s_a) como el **exceso relativo de salinidad** (exceso de salinidad del efluente sobre la del medio receptor expresada en términos relativos respecto a ésta, $\Delta s_e / s_a$) dependen exclusivamente del índice de conversión de la planta.





CEDEX

Algunas veces parte del caudal de toma se dedica a prediluir el efluente antes de su vertido al mar. Designando mediante los subíndices t , v y D la toma, el vertido y la predilución, y llamando R_D a la fracción del caudal de toma que se dedica a este fin:



$$R_D = Q_D / Q_t$$

y suponiendo aquí también que $s_p \ll s_a$, se tiene:

$$Q_v = Q_e + Q_D = (1 - R) Q_a + Q_D = (1 - R) (1 - R_D) Q_t + R_D Q_t = (1 - R + R R_D) Q_t = (1 - R') Q_t$$

siendo R' el índice de conversión global de la planta:

$$R' = R - R R_D = R (1 - R_D) = (Q_p / Q_a) (Q_a / Q_t) = Q_p / Q_t$$

Por otra parte:

$$s_t Q_t = s_a Q_t \approx s_v Q_v = s_v (1 - R') Q_t$$

de donde

$$s_v / s_a \approx 1 / (1 - R')$$

y

$$(s_v - s_a) / s_a = \Delta s_v / s_a = s_v / s_a - 1 \approx R' / (1 - R')$$

O sea, tanto la salinidad relativa del vertido (s_v / s_a) como el exceso relativo de salinidad ($\Delta s_v / s_a$) dependen exclusivamente del índice global de conversión de la planta, que puede calcularse simplemente dividiendo el caudal de agua producto por el caudal de toma, variables estas que suelen medirse de forma permanente en las plantas desaladoras. Nótese que no es necesario medir ninguna salinidad, hecho que será de utilidad más adelante.

Obsérvese que si no hay predilución ($Q_D = 0$), se anula R_D y resulta $R = R'$ y entonces este resultado coincide con el anterior.

2. Cálculo de la dilución necesaria para cumplir los criterios de calidad

2.1. Criterios expresados como límite de salinidad

Si el criterio de calidad consiste en que no se puede sobrepasar una salinidad límite dada s_{lim} , la dilución necesaria se calcula mediante la expresión

$$S_{nec} = (s_v - s_a) / (s_{lim} - s_a)$$

Como se ve, debe determinarse el valor de s_a y el valor de s_v . No obstante, utilizando las expresiones del capítulo 1 se llega a

$$S_{nec} = s_a R' / [(s_{lim} - s_a)(1 - R')]$$

por lo que solo es necesario determinar el valor de s_a , ya que el índice de conversión global de la planta es conocido¹.

Supongamos que se trata de una desaladora con un índice de conversión $R = 0,45$ que toma agua de un medio con salinidad $s_a = 37,5 \text{ psu}$ (típica del Mediterráneo) y que $s_{lim} = 38,5 \text{ psu}$ (límite que no puede sobrepasarse más de un 25% del tiempo en praderas de *Posidonia oceánica*). Entonces la dilución necesaria es

$$S_{nec} = 37,5 \cdot 0,45 / [(38,5 - 37,5)(1 - 0,45)] = 30,7$$

Si en la determinación de s_a se cometiera un error de $0,5 \text{ psu}$ (un 1,3%) se habría obtenido $s_{a1} = 37,0 \text{ psu}$ ó $s_{a2} = 38,0 \text{ psu}$. Las diluciones necesarias que se habrían calculado serían entonces $S_{nec1} = 20,2$ ó $S_{nec2} = 62,2$. Como puede verse, el valor de la dilución necesaria es muy sensible a los errores en la determinación de la salinidad del medio, lo cual resulta muy inconveniente para un diseño adecuado del dispositivo de vertido..

2.2. Criterios expresados como límite de incrementos absolutos de salinidad

En este caso el criterio consiste en no sobrepasar un incremento dado de salinidad $\Delta s_{lim} = (s - s_a)_{lim}$. La dilución necesaria se calcula mediante la expresión

$$S_{nec} = (s_v - s_a) / \Delta s_{lim} = s_a R' / [\Delta s_{lim} (1 - R')]$$

Con el mismo ejemplo anterior se tendría ahora:

$$\Delta s_{lim} = 1,0 \text{ psu}; \quad S_{nec} = 30,7; \quad S_{nec1} = 30,3; \quad S_{nec2} = 31,1$$

El valor de la dilución necesaria es ahora muy poco sensible a los errores en la determinación de la salinidad del medio.

¹ Por ser objetivo de diseño o por medición de los caudales.



CEDEX

2.3. Criterios expresados como límite de incrementos relativos de salinidad

Ahora el criterio de calidad consiste en que no se sobrepase un valor dado del incremento relativo de salinidad $r_{lim} = \Delta s_{lim} / s_a$. La dilución necesaria se calcula ahora mediante la expresión

$$S_{nec} = r_v / r_{lim} = (s_v - s_a) / (s_a r_{lim}) = R' / [r_{lim} (1 - R')]$$

Como se ve, en este caso no es necesario determinar la salinidad del medio y por lo tanto, el valor de la dilución necesaria no está afectado por los errores cometidos en dicha determinación.

En el caso del ejemplo se tendría $r_{lim} = 1 / 37,5 = 0,0267$ y se volvería a obtener $S_{nec} = 30,7$.