

5. Cultivo de macroalgas

5.1. Justificación del desarrollo de los cultivos de macroalgas

Antes de entrar a justificar el interés de potenciar el desarrollo acuícola de las algas hay que recordar el papel que estas especies desempeñan en el medio natural, al constituir el punto de partida de las cadenas alimenticias y asegurar así la producción de todos los herbívoros y omnívoros acuáticos, produciendo la mayor parte del oxígeno de este medio. Forman además un substrato de fijación para muchos organismos sésiles, a la vez que sirven de albergue a numerosas especies de peces, crustáceos y moluscos, a las que dan cobijo cuando huyen de sus depredadores. Por otra parte ejercen un papel de protección de las costas contra las agresiones de tipo erosivo, atenuando las resacas y participando como decontaminantes de las aguas al utilizar los nitratos y fosfatos procedentes de los aportes terrígenos a la vez que estimulan el desarrollo de los microorganismos al expulsar diversas sustancias que favorecen su crecimiento.

Cualquier especie que se encuentre abundantemente en la naturaleza, podría pensarse que en principio su cultivo no debe de constituir una prioridad, no obstante, y a pesar de la gran riqueza existente respecto a estos recursos, el desarrollo de su cultivo tendrá siempre una clara justificación, en primer lugar por el hecho patente y ya evidenciado de que no existen recursos que sean inagotables, y de ello claro ejemplo hemos tenido con la evolución de las pesquerías, referencia tan habitual en todas las publicaciones que sobre acuicultura se han realizado en la década de los años 70, que ante la alarma que provocaba el agotamiento de los bancos naturales y de los recursos pesqueros en general, se inició una campaña a nivel internacional de fomento y potenciación del desarrollo acuícola. Por otra parte, la utilización de las algas en tantas y tan numerosas aplicaciones, son un claro exponente del interés que esta actividad suscita, lo que es suficiente para prestarle atención en el contexto de este estudio.

Haciendo un poco de historia con relación a lo que ha sido la explotación de los recursos fitológicos, hemos de retroceder —por lo menos— hasta el siglo XIV, en el que se utilizaban las algas para abonar las tierras de labranza en las zonas costeras, aprovechando aquellas que eran arrastradas por las mareas hacia la costa, usándolas bien en fresco o bien almacenándolas y dejándolas fermentar hasta el momento de reposo de las cosechas para así fortalecer las zonas de labranza. Esta actividad tuvo un verdadero apogeo en el siglo XVII, naciendo un floreciente comercio de centros de algas que alcanzó su máximo a inicios del siglo XX. Las especies más empleadas eran básicamente las pertenecientes al grupo de las Fucales, que son muy ricas en nitrógeno, potasio y fósforo; por lo que en general su uso como abono aporta a las tierras, además de estos elementos, sales, oligoelementos y hormonas de crecimiento.

Otra utilización es para la alimentación animal (piensos), cuya explotación parece ser que al igual que en el caso del uso como abono (Fig. 24) se remonta a épocas muy antiguas basando su utilidad en la composición de las mismas, es decir en su riqueza vitamínica, proteínica y en microelementos. El aprovechamiento se realizaba tanto a partir de las plantas frescas como en forma de forraje preparado, si bien, en la actualidad, se introducen en la dieta alimenticia bajo forma de harinas, procedentes de especies pertenecientes a los géneros *Laminaria* sp., *Rhodymeria* sp., *Fucus* sp., *Ascophlyllum* sp., etc.; es decir, en general se emplean algas pardas. Sin embargo, lo más extendido y de mayor repercusión económica es su empleo en la industria, a través de la cual se desarrollan numerosas aplicaciones con los productos extraídos de las diferentes especies de algas. La actividad industrial podemos situarla en el siglo XVII precisamente en España, que fue uno de los países punteros en la explotación de las algas desde dicho siglo; entre otros destinos, se utilizaron sus productos para la fabricación del cristal, si bien este aprovechamiento en la industria del cristal sufre un declive acentuado a partir del siglo XVIII.

En el ámbito de Europa, el crecimiento industrial de las algas incluye tres períodos diferentes, en una primera época se extraía sosa y potasa, posteriormente iodo

Figura 24
Recogida de algas para utilizar como abono



y, finalmente, alginatos y otros productos orgánicos. La extracción de sosa se obtenía principalmente a partir de especies pertenecientes a los géneros *Fucus* y *Ascophyllum* por la elevada concentración que presentan en determinados compuestos. Este tipo de explotación fue decayendo para dar paso a una nueva explotación que surge a partir del siglo XVIII, que es la utilización para la obtención de iodo, desarrollándose rápidamente esta industria, a partir de las algas Laminarias, que son especies muy ricas en dicho elemento. En principio el iodo se obtenía mediante procesos de incineración a partir de las cenizas, pero en la última mitad del siglo XIX se introdujeron nuevas técnicas con el fin de eliminar las pérdidas que se ocasionaban con este método, además de posibilitar la extracción de nuevos productos. Es un escocés (Edward Stamford, 1837-1899) el que trabajaría sobre la mejora de los procesos de separación del iodo a partir de cenizas de algas, logrando aislar la algina en 1883. Posteriormente, a partir de los resultados obtenidos por Stamford, otros investigadores consiguen la extracción de productos más puros, tales como el ácido algínico, con el que se abre la vía a una verdadera explotación industrial, desarrollándose durante la I Guerra Mundial en Australia, Tasmania y en USA la llamada «industria de los alginatos». El ácido algínico se encuentra prácticamente en todas las grandes algas pardas y parece que en forma de sales de metales divalentes, fundamentalmente calcio. La concentración de esta sustancia en las referidas algas es relativamente alta y, como término medio, puede oscilar entre el 15 y el 40% del peso seco (Seoane, 1979). Paralelamente a la explotación con vistas a la obtención de alginatos, los investigadores sobre las propiedades de algas comprenden que las cualidades gelificantes de la especie *Chondrus* son interesantes para la industria farmacéutica, en la cual ya se había utilizado en 1871 y para la industria alimentaria a partir de 1879. En 1921 aparece el término carregenina para designar al ficoloide aislado (Arzel, 1985).

El producto que adquiere gran importancia en el mercado es el agar-agar, nombre que según parece tiene origen malayo ya que de esta forma se llaman las algas del género *Euchenia* en aquel país. Se trata de un material gelificante llamado muchas veces gelosas o ficocoloides y en el que quedan incluidos una serie de productos obtenidos de distintas algas cuyas propiedades varían según su origen y que están constituidos por dos polisacáridos, la agarosa y la agarpectina, en distintas proporciones según la materia prima de que procedan. Parece ser que la agarosa es la responsable de las propiedades gelificantes, mientras que la agarpectina suministra el componente viscoso. Hasta 1939 el principal país productor, consumidor y exportador de agar en el mundo era Japón, obteniendo la materia prima a partir de *Gelidium amansii*, fundamentalmente. Con motivo de la Segunda Guerra Mundial, el mercado se vio paralizado, por lo que los países importadores tuvieron que intensificar los estudios sobre diversas algas a partir de las cuales se pudiera producir agar de características similares al japonés. En este sentido, trabajaron sobre especies que anteriormente no habían sido utilizadas, tales como *Gelidium cartilagineum* en las costas del Pacífico de América del Norte y de África del Sur; de *Gracilaria conferr-*

voides en África del Sur, Australia y Estados Unidos; de *Hypea musiciformis* en Estados Unidos; de *Gelidium pulchellum* y *Gelidium latifolium* en Irlanda; de *Chondrus crispus* y *Gigartia stellata* en Inglaterra; de *Suhria vittata* en África del Sur; de *Pterocladia lucida* y *Pterocladia capillacea* en Nueva Zelanda; de *Gelidium sesquipedale* en España, etc. (Seoane, 1979). Como resultado de estos estudios y aprovechamientos surgieron una serie de productos con diferentes características que se conocen genéricamente como agares, gelosas o ficocoloides, los cuales se dividen en tres grandes grupos según su poder gelificante:

- Agar verdadero: extraído de *Gelidium*, gelifica aún en concentraciones muy diluidas.
- Agaroides: obtenidos a partir de *Euchema* e *Hypea*, gelifican solamente en medios concentrados y si se añaden electrolitos.
- Carrageninas: extraídas de *Chondrus* y *Gigartiria*, gelifican en medios concentrados.

Una de las principales aplicaciones del agar verdadero es su uso como medio de cultivo microbiológico (bacterias y hongos), debido a que una disolución diluida de este material forma un gel firme después de haber incorporado el medio de cultivo adecuado, y sobre el mismo crecen fácilmente los microorganismos sin que sea digerido por la mayor parte de estos. Además del empleo en microbiología, el agar, juntamente con otros geles de algas, tiene un gran número de aplicaciones en el campo de la alimentación, tanto para la presentación de conservas, como en lácteos, etc.

Las carrageninas son unos coloides químicamente similares al agar pero que se diferencian de éste, básicamente, en que la micela del agar tiene mayor complejidad que en las carrageninas, por lo que el contenido de cenizas es más elevado y la resistencia de gel más baja. Por otra parte, las propiedades de las carrageninas están profundamente afectadas por la naturaleza y cantidades relativas de otros solutos en sus disoluciones acuosas; presentan una alta viscosidad, son coagulantes y precipitan ciertas proteínas o dan geles complejos con otras, lo que confiere a este producto la cualidad de ser muy útil para la industria, especialmente como agente clarificante en la fabricación de bebidas y como estabilizador en ciertas emulsiones.

Otra aplicación de las algas es su utilización para la alimentación humana, la cual, si bien tiene su origen en los países orientales, cada día adquiere mayor aceptación en occidente. En general, las algas se han utilizado desde tiempos inmemoriales en todos los países marítimos del mundo, especialmente en los del sudeste asiático, como Japón, China y Corea, donde constituyen la base de la alimentación popular, al menos desde el siglo XVII, en consecuencia, las industrias alimentarias a partir de algas marinas se han ido desarrollando en todo el Extremo Oriente y principalmente en Japón, en donde se estima que más de 40 géneros son cultivados actualmente para alimento humano.

En Europa, básicamente en los países nórdicos y en las Islas Británicas, así como en Norteamérica, han sido utilizadas varias especies como alimentos, si bien podemos decir que exceptuando el uso de las leches gelificadas fabricadas a partir

del alga roja *Chondrus*, la recolección de algas con fines alimenticios en los países de nuestro entorno, sólo se llevó a cabo durante las épocas en las que por determinadas condiciones existían carencias de otros alimentos. Los países en que se utilizaban las algas como productos para la alimentación humana directa en los años 80 son los representados en la tabla 19.

Las especies que presentan un mayor interés para la industria alimentaria son: el género *Laminaria*, de cuyas especies se extrae un producto muy apreciado llamado *kombu*, el género *Porphyra*, que constituye la base del producto llamado *nori*, y el género *Undaria* a partir del cual se obtiene el *wakame*. El *kombu* es un producto rico en glúcidos, sales minerales y vitaminas, en Japón se fabrica desde 1730, obteniéndolo a partir de *Laminarias*, especialmente de las especies *Laminaria* sp. (*Makombu*) y de *L. angustata* (*Kizami-kombu*); se utiliza como condimento, como legumbre, mezclada con arroz o en infusión (té de *kombu*). El *nori* se elabora a partir de diferentes especies del género *Porphyra* de las cuales las más utilizadas son *P. tenera*, *P. yezoensis*, *P. onol*, *P. okamurai*, *P. seriata*, *P. pseudo-linearis*, *P. kumieda*, *P. dentata*, *P. akasakai* y *P. angustata*, se trata de un producto de gran valor alimenticio, con un elevado contenido proteico además de ser rico en sales minerales y en vitaminas A, B y C. El *wakame* se obtiene principalmente del alga *Undaria pinnatifida*,

Tabla 19

Principales algas marinas utilizadas para la alimentación directa
(Brault y Briand, 1987)

	Algas	Países
Rojas	<i>Chondrus crispus</i> <i>Porphyra</i> sp. <i>Palmaria palmata</i> <i>Facilaria</i> sp. <i>Laminaria digitata</i> <i>L. saccharina</i> <i>L. japonica</i>	Islandia, Francia Japón, Corea, China, Hawai Islandia, Canadá, Francia Hawai, China Francia Escocia, Irlanda Japón
Pardas	<i>L. angustata</i> <i>L. laugissima</i> <i>Undaria pinnatifida</i> <i>U. undarioides</i> <i>Alaria esculenta</i> <i>Sargassum</i> sp. <i>Nereocystis metkeana</i> <i>Durvillea antarctica</i> <i>Himanthalia elongata</i> <i>Codium</i> sp.	Japón Japón Japón Japón Islandia, Francia China, Japón, Filipinas, Malasia, Hawai América del Norte Chile Francia Japón
Verdes	<i>Caulerpa</i> sp. <i>Ulva</i> sp.	Filipinas, Malasia, Singapur, Hawai Europa Occidental, India, América del Norte

siendo también utilizadas otras dos especies *U. undarioides* y *U. peterseniana*. Las algas de estas especies son objeto de gran cultivo en Japón, Corea, China y dentro de los países europeos en Francia se está cultivando desde 1982 con éxito *U. pinnatifida* tras haber sido introducida accidentalmente en 1971 (Grizel y Heral, 1991). *U. pinnatifida* es la especie de mayor consumo junto con *Laminaria* y *Porphyra*.

5.2. Especies cultivables: estudio biológico

Al referirnos a las especies que consideramos deben de ser seleccionadas para este estudio, citamos *Undaria pinnatifida* y *Chondrus crispus*, no obstante, según el criterio de los expertos en esta materia, existe una serie de especies sobre cuyo cultivo son numerosos los conocimientos científicos y experiencias con resultados favorables (Salinas *com. pers.*), entre las que podemos destacar las siguientes:

- *Undaria pinnatifida*.
- *Laminaria sacarina*.
- *Gracilaria verrucosa*.
- *Himantalia elongata*.
- *Ulva* sp.
- *Chondrus crispus*.
- *Gelidium sequispedale*.
- *Porphyra* sp.

En las especies que integran esta lista están representados los tres grupos de algas: verdes, pardas y rojas, sobre cuyas características generales vamos a referirnos, además todas ellas, tras la introducción de *Undaria*, forman parte del medio natural de las costas de la península Ibérica (Lüning, 1990).

Las algas verdes poseen una pared celulósica rígida compuesta por una película interior de celulosa. Morfológicamente, están constituidas desde por simples células aisladas de forma más o menos redondeadas, hasta formas filamentosas, laminares, foliáceas y cilíndricas, constituidas por la unión de varias células. Los pigmentos se localizan en cloroplastos bien organizados. El color verde hierba se debe a los pigmentos clorofila-*a* y clorofila-*b*, si bien contienen también pigmentos carotenoides y xantofilas. La reproducción, por regla general, se realiza por fragmentación, aunque existe reproducción sexual y alternancia de generaciones. Dentro de este grupo se sitúa el Orden Ulvales, al cual pertenecen las especies del género *Ulva*, llamada vulgarmente lechuga de mar, pues presentan un tallo grande y aplanado que recuerda las hojas de lechuga y que comprende de una a dos capas de células. Crece abundantemente en la zona intermareal en lugares protegidos y también por encima de la submareal. Se reproducen asexualmente mediante la formación de zoosporas flageladas, y sexualmente a través de células reproductoras diferenciadas móviles e inmóviles (anterozoide y oosfera). Existe una alternancia de generaciones por la que se reproducen de forma diferente, pero que presenta una apariencia similar.

La mayoría de las grandes algas pertenecen al grupo de las algas pardas, las cuales, en general, tienen la pared celular constituida por una capa interna resistente y celulósica y otra externa mucilaginoso, péctica o de sustancias semejantes, localizándose en estas paredes sustancias coloidales complejas en abundantes concentraciones, entre las que cabe citar la algina y la fucodoina. Ninguna de estas algas es móvil, viven fijas al substrato mediante partes basales en forma de ventosa o de rizoides, aunque producen células móviles, las zoosporas y gametos, dichas células poseen casi siempre dos flagelos insertos lateralmente que son de desigual longitud. El característico color parduzco o pardo oliváceo se debe a la presencia de un pigmento xantofílico, la fucoxantina. También poseen pigmentos carotenoides y otras xantofilas, además de los pigmentos verdes (clorofila-*a* y *c*), que se encuentran enmascarados por la fucoxantina y los otros carotenoides. Generalmente estas algas presentan un sistema vegetativo muy complejo, si bien todas ellas poseen estructuras reproductoras relativamente sencillas. La reproducción sexual varía ampliamente, pero en general existe una alternancia de dos generaciones pluricelulares. La reproducción vegetativa puede realizarse por simple fragmentación del talo o mediante fragmentos pluricelulares especializados.

Dentro de este grupo de algas se encuentran las especies de *Undaria*, *Laminaria* e *Himanthalia*. Las dos primeras pertenecen al Orden Laminariales en el que se incluyen muchas de las grandes algas que se encuentran en todos los océanos. Crecen con frecuencia por debajo del nivel de la marea baja donde se fijan para contrarrestar la fuerte acción del oleaje, siendo a veces tan abundantes que forman los llamados «bosques de laminarias». Al Orden Fucales pertenece *Himanthalia* que se caracteriza por presentar una alternancia de generaciones gametofítica y esporofítica. Los gametofitos portan gametangios multicelulares en los que cada célula contiene un gameto. Se ha discutido mucho sobre las diferencias que presentan las Fucales respecto a las otras algas pardas, tales como, por ejemplo, la distinta forma y dotación flagelar de los espermatozoides, si bien, en base a las características bioquímicas, se decidió no separarlas del grupo (Scagel *et al.*, 1973).

Las algas rojas comprenden los tipos más complejos y especializados de algas, tienen la pared celular típicamente diferenciada en una capa celulósica interna y una capa péctica externa; en la pared celular y en los espacios intercelulares de muchas de estas algas se encuentran sustancias coloidales que son mezclas de polisacáridos sulfurados (agar y caragenina). El color se debe a la presencia de pigmentos ficobilínicos rojos y azules (ficoeritrina y ficocianina), también poseen carotenoides y xantofilas; al igual que en el caso de las algas pardas, los pigmentos verdes (clorofilas) se encuentran enmascarados por los otros pigmentos. Es frecuente la reproducción vegetativa por fragmentación. Generalmente las especies producen plantas macho y hembra separadas; en la reproducción sexual los gametos masculinos son inmóviles, llamados anteridios o espermatangios, y son pasivamente transportados hasta los órganos sexuales femeninos. No hay zoosporas flageladas.

Los géneros *Gelidium*, *Gracilaria*, *Chondrus* y *Porphyra* son algas rojas. *Gracilaria* y *Porphyra* pertenecen al Orden Bangiales que presentan un ciclo vital con alternancia de generaciones isomórficas, la división celular ocurre en cualquier parte del cuerpo; el cigoto fecundado se divide directamente en carposporas. Dentro del Orden Gelidiales se sitúa *Gelidium*, estas algas presentan un talo cilíndrico más o menos aplanado muy ramificado y de consistencia cartilaginosa, con cistocarpos alojados en ligeros abombamientos de ramificaciones del talo. De la especie *G. cartilagineum* se extraen grandes cantidades de agar. En el Orden Gigartinales se sitúan las especies de *Chondrus* sp., algas de color púrpura oscuro con talo cartilaginoso provisto de gruesas ramificaciones. En las costas rocosas del Atlántico Norte de Europa y Norteamérica el *Chondrus crispus*, o musgo de Irlanda, forma una ancha banda de crecimiento denso y profundo en la zona intermareal por debajo del nivel de *Mytilus* sp., este crecimiento alberga a una multitud de pequeños animales y las porciones basales están generalmente cubiertas de briozoos incrustantes.

Las condiciones del medio para el desarrollo de las macroalgas, al igual que sucede con todos los seres vivos son fundamentales, influyendo de manera decisiva los factores físico-químicos y entre ellos hay que prestar atención a parámetros tales como la luz, temperatura, salinidad, etc. Como vegetales fotosintéticos que son, las algas precisan de la luz para sus funciones vitales, interviniendo este parámetro de diferentes maneras según la cantidad (intensidad luminosa), la calidad (naturaleza de las radiaciones presentes) o el fotoperíodo (duración relativa de los períodos de luz y de oscuridad). Dentro de estos, la dosis acumulativa de luz a lo largo de la fase lumínica es el factor más esencial del desarrollo fitológico, hasta el punto que los investigadores en esta materia consideran que la luz influye trascendentalmente en la diversidad, el crecimiento, la biodistribución, la sucesión espacial y temporal, el desarrollo de los ciclos biológicos, etc., es decir, que regula todo su desarrollo, lo que hace que se considere un factor decisivo (Salinas, *com. pers.*). Tal como hemos visto, los distintos grupos de algas se caracterizan por la presencia de pigmentos carotenoides y xantófilas, los cuales intervienen en la absorción de la energía luminosa asimilándola preferentemente en longitudes de onda que la clorofila no puede absorber y dado que las algas pardas, las rojas y las verdes contienen diferentes tipos de pigmentos, absorberán las radiaciones del espectro solar con distinta eficacia.

La temperatura es un factor que ejerce una acción compleja sobre las algas y junto con la luz influye sobre todos los procesos metabólicos y reproductores, pudiéndose constatar que las diferencias anuales de temperatura junto con el fotoperíodo son los principales factores que condicionan el crecimiento de ciertas especies. La variación latitudinal de la temperatura de las aguas superficiales oceánicas es otro de los parámetros que condicionan la diversidad y distribución geográfica de las especies. Respecto a la salinidad, al igual que ocurre con la temperatura, sus variaciones afectan a todos los procesos metabólicos de las algas, lo que se manifiesta generalmente en el sentido de una perturbación que da lugar a alteraciones en los sistemas de desarrollo y, en consecuencia, los medios con salinidades variables presen-

tan una escasa diversidad específica, estando escasamente representadas las algas pardas y las algas rojas y únicamente predominan las algas verdes que, por otra parte, están reducidas a un pequeño número de géneros, en definitiva, en estas regiones sólo se instalan algas eurihalinas. El hidrodinamismo y los movimientos de marea influyen de manera gradual e inversa a medida que aumenta la profundidad, las algas manifiestan grados de aclimatación muy diversos con respecto a estos factores, siendo las de los niveles superficiales necesariamente eurioicas. El hidrodinamismo y el fenómeno de la marea, junto con las variaciones de humedad, son los factores dominantes en las regiones superficiales del Atlántico y del Mediterráneo. La agitación del agua favorece la implantación de ciertas especies frente a otras por lo que la diversidad estará en función de este factor, al igual que la morfología.

Otros factores que actúan sobre la distribución y la diversidad son la desecación, la riqueza en nutrientes, la configuración de la costa, la contaminación, etc., por lo que habrán de tenerse en consideración ante la posibilidad de un desarrollo acuícola.

Undaria pinnatifida

Como ya hemos dicho *U. pinnatifida* es junto a *Porphyra* sp. y *Laminaria* sp. una de las principales especies utilizadas en la alimentación humana. Posee un alto valor comercial por sus cualidades organolépticas y nutricionales, elevado contenido en proteínas de alta calidad, altos niveles en vitaminas, minerales y oligoelementos, buena tasa de digestibilidad, presencia de todos los aminoácidos esenciales, un bajo contenido en lípidos y glúcidos asimilables, además tiene otros muchos usos sobre los que se está investigando actualmente, como por ejemplo el poder ser un complemento muy adecuado en la dieta de diversas especies en acuicultura, además de presentar propiedades antimutagénicas (Pérez-Cirera *et al.*, 1997). Es un alga parda del Orden de las Laminariales, familia de las Alariáceas y de la clase de las Phéophyceas, se presenta en estado adulto bajo la forma de una lámina con cortes laterales a modo de escotes de 90 a 100 cm de largo, pudiendo alcanzar una altura de hasta 3 m. Lleva un estipe aplastado del que sale un voluminoso conjunto de zarcillos que fijan el alga al substrato, el estipe se prolonga en la lámina bajo la forma de una nervadura mediana, de una y otra parte de ésta se observa una especie de aleta en espiral de 5 cm de ancho que llevará hasta la maduración de los productos reproductores. La especie es endémica de las costas japonesas, en donde se encuentra a profundidades de 0 a 15 m. En el litoral ibérico se han introducido en Galicia y las costas del Cantábrico (Pérez-Cirera *et al.*, 1997).

El ciclo de reproducción tiene dos fases, una representada por la planta macroscópica y la otra por los organismos microscópicos. El período de fertilización se realiza desde principios de mayo-finales de junio (Pérez *et al.*, 1981); la producción de esporas es abundante, la emisión de los elementos reproductores continúa incluso después de que el alga se reduzca a su estipe. El crecimiento vegetativo es

muy rápido pero de corta duración. El ciclo reproductivo consiste en que la planta madura produce esporas masculinas y femeninas que se fijan para dar lugar a los respectivos gametofitos y al cigoto que origina la plántula que crecerá hasta su estado adulto.

Chondrus crispus

Se trata de un alga roja de las Rodophytas, subclase Gigartina, muy rica en carageninas, muy polimorfa, típicamente erecta y cartilaginosa. Es una especie perenne, pues su disco basal, que está fuertemente fijado al substrato, permanece cuando las viejas láminas se desprenden y da lugar a otras nuevas. Su hábitat es la zona infralitoral sobre substratos rocosos, aunque puede desarrollarse también en los estuarios, lo que pone de manifiesto su carácter eurihalino. Puede ser fértil durante todo el año, variando según la zona en la que se encuentre y en función de las condiciones ambientales. La planta vegetativa es relativamente sencilla, la parte basal de algunos de los talos más complejos presentan con frecuencia y de forma permanente ciertos tipos de reproducción vegetativa. Los talos masculinos maduros presentan unas manchas claras en los vértices, a través de ellas liberan al agua los gametos masculinos que, al colocarse encima del talo femenino maduro, darán lugar a la fecundación, provocando el desarrollo de un pequeño bulto sobre la planta femenina, dentro del cual se formarán esporas, que después de liberarse originarán una nueva planta, morfológicamente parecida a los talos que las han originado.

Es una especie sexuada y dioica, el ciclo de reproducción hace intervenir tres generaciones de individuos morfológicamente idénticos, el gametofito macho o hembra, el tetraesporofito y el carposporofito (Guiry y Blunden, 1991). El tetraesporofito al madurar libera 4 esporas haploides que germinan y dan los gametofitos. Los espermias emitidos por el gametofito macho se fijan sobre el trigogino del gametofito hembra para formar después de la fecundación el carposporofito, parásito del gametofito hembra que emitirá las carposporas dando nacimiento a un nuevo tetraesporofito.

5.3. Sistemas de cultivo

El desarrollo del cultivo de macroalgas puede realizarse directamente en el mar, o bien ser mixto, es decir unas fases en un centro, complementadas con el mar o enteramente en el centro de desarrollo. Para el primer caso, es decir en el mar, sólo pueden llevarse a cabo sobre especies que se desarrollan mediante propagación vegetativa, realizándose una fragmentación manual o mecánica y una resiembra de los fragmentos. En el caso mixto mar-centro de cultivo, el desarrollo y la recolección se realiza en el mar, pero la semilla y sembrado se hace en laboratorio; este tipo de cultivo ya es más independiente frente a los factores externos, pero necesita también

mano de obra relativamente numerosa y más cualificada, sobre todo en la fase de laboratorio. Finalmente, el cultivo que se realiza totalmente tierra adentro, precisa menos mano de obra pero muy cualificada.

Antes de cultivar cualquier especie de macroalga es necesario adecuar la técnica del cultivo a la biología y a las características de la misma, si bien, siempre las fases de desarrollo van a abarcar cuatro etapas:

- La siembra de los colectores a partir de elementos reproductores.
- La producción de plántulas.
- El precultivo.
- El cultivo.

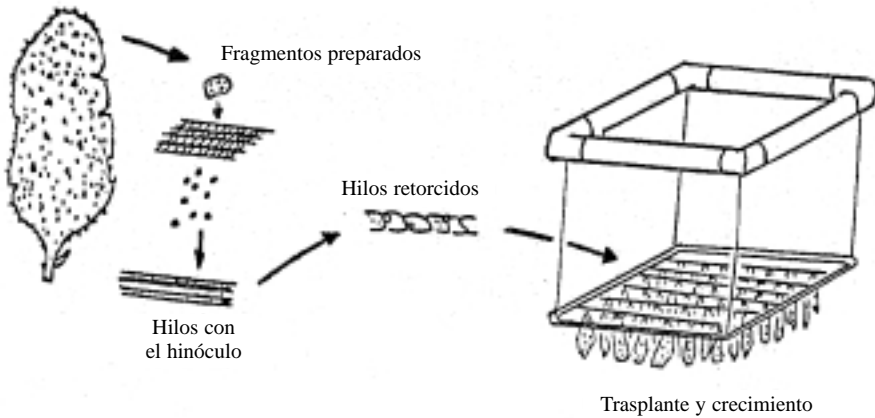
Para la primera fase, es decir la de obtención de esporas, pueden usarse diferentes técnicas, bien mediante métodos de captación natural de las esporas, que consiste en la utilización de ramajes secos entrelazados, clavados en los fondos y que emergen hasta el nivel medio de las mareas. Las esporas flotantes se adhieren a ellos y comienzan a germinar, siendo entonces el momento adecuado para su traslado a otras zonas acuáticas más ricas en elementos nutritivos. Otra variación consiste en sustituir el ramaje horizontal o vertical por mallas horizontales, las cuales se apoyan en pies derechos o flotantes que permitan regular la altura y la duración de los períodos de inmersión en el agua, para controlar el cultivo y evitar que otro tipo de algas perjudiciales invadan y colonicen las instalaciones.

Sin embargo, los métodos más empleados en la actualidad consisten en la producción en medios controlados, en instalaciones que constan básicamente de dos departamentos, la sala de acondicionamiento de reproductores y la sala de producción y fijación de esporas. En la primera sala se instalan las plantas en tanques cuya agua se enriquece con sales minerales y se mantiene bajo un control de luz y temperatura. En la sala de producción y fijación de esporas se procede a provocar la liberación de las esporas a partir de las fases vegetativas maduras conseguidas en la sala anterior y a la fijación de dichas esporas. Esta operación se realiza tomando fragmentos del tronco parental previamente seleccionados y tamizados mediante un tejido de red, los fragmentos que pasan por la red se captan y quedan sujetos a los colectores, usando generalmente redes, mallas o hilos. Posteriormente se procede a la incubación bajo condiciones adecuadas y controladas. De la germinación de las esporas se originan las plántulas que serán transplantadas al medio natural para su crecimiento (Fig. 25).

El cultivo de *Undaria pinnatifida* se realiza por diferentes métodos, pero todos ellos basados en la misma técnica, es decir, se capturan las zoosporas producidas de forma natural por el esporofito y se continúa su ciclo artificialmente en estanques. Las esporas se adhieren a cabos o cuerdas, con nudos dispuestos convenientemente y se convierten en gametofitos que dan origen a las jóvenes generaciones de esporofitos, los cuales, para su mejor aprovechamiento, se introducen en agua de mar justo en el último momento, permaneciendo el ciclo controlado el mayor tiempo posible. La viabilidad de este cultivo requiere conocer previamente la biología de *U. pinnati-*

Figura 25

Esquema de obtención de esporas y jóvenes plántulas
(en Pardellas y Polanco, 1987)



vida y reproducir todas las fases de su ciclo vital, digenético, siguiendo un cronograma que permita el desarrollo de los ejemplares adultos en condiciones naturales, ya que *U. pinnatifida* tiene un ciclo muy complejo y podemos distinguir dos fases, la microscópica (gametófitos o aploides) y la macroscópica (diploides o esporofitos). Así, se producen dos generaciones diferenciadas con alternancia muy heteromórfica. El cultivo en laboratorio debe reproducir todo el ciclo vital, de modo que pueda estar controlado. En definitiva, las fases más importantes del proceso consisten en la obtención de los gametofitos, siembra de colectores con gametofitos maduros, obtención de cigotos tras la fecundación, germinación de los mismos, aclimatación de las jóvenes plántulas y posterior implante en el mar para el desarrollo de los esporofitos (Pérez-Cicera *et al.*, 1997). La obtención de gametofitos y mantenimiento de los mismos se realiza mediante la técnica de *free-living* a partir de zoósporas bajo condiciones controladas y variables de hidrodinamismo, luz, fotoperíodo, temperatura, nutrientes, etc.

El cultivo de *Chondrus crispus* se hace en depósitos *raceways*, en circuito semicerrado para limitar los costes de bombeo. Los parámetros temperatura, pH, velocidad de corrientes, renovación del agua, etc. son automatizados. El vaciado en los depósitos es de alrededor de 8 m/s. Se realizan numerosos aportes para mejorar las condiciones y desarrollo del alga, tales como elementos ricos en fósforo nitrógeno, bajo forma de nitratos de amonio y fosfato disódico, adicionando las sustancias al inicio de la noche, por otra parte se añade CO₂ bajo la forma de CO₂ disuelto, lo que permite rebajar el pH, ya que éste aumenta al final del día y los iones HCO₃⁻

no están en cantidad suficiente que permita un buen desarrollo del cultivo. Se hacen renovaciones parciales del agua hacia la mitad de la mañana, evaluando la duración de estas renovaciones en función de la intensidad luminosa, de la temperatura y de la densidad. El crecimiento es máximo de abril a agosto, mientras que en invierno es muy bajo. Los mejores resultados para la obtención de esporas se dan en otoño, bajo condiciones de 15 °C de temperatura e irradiaciones a 20 micro E/m(cuadrados) (Tasende y Fraga, 1993). En general, los parámetros principales para este cultivo son (Braud, 1989):

- Buscar las mejores nutrientes para enriquecer el medio y asegurar un buen funcionamiento metabólico del alga.
- Erradicar las algas comensales.
- Renovar el agua, manteniendo una tasa de bombeo de la misma adecuada a las necesidades de la población a cultivar.
- Controlar la luz y la temperatura: a estos parámetros hay que prestarles una particular atención. La temperatura óptima de crecimiento es de 17 °C con una banda satisfactoria de 14-22 °C.
- Mantener el pH a 8,2.