



# Cultivo de Macroalgas: Diversificación de la Acuicultura de Pequeña Escala en Chile

Sandra Saavedra - Luis Henríquez - Pablo Leal - Francisco Galleguillos  
Sebastián Cook - Francisco Cárcamo



#### **Agradecimientos:**

Este trabajo forma parte del Programa Permanente en Pesca y Acuicultura (Ley de Pesca 20.657), el cual se realiza en virtud del convenio que se suscribe anualmente entre la Subsecretaría de Economía y Empresas de Menor Tamaño y el Instituto de Fomento Pesquero. La contraparte científico técnica del Programa Permanente y de cada uno de sus estudios, es la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura a la cual se agradece su apoyo y gestión. Al AMERB de Auchac Sector C, administrada por el STI pescadores artesanales, algueros, buzos mariscadores y ramos afines de la localidad de Auchac, a CCAA en el Canal Dalcahue, administrada por el STI pescadores artesanales, acuicultores de mitílidos y comercialización de productos del mar de la localidad de Dalcahue y a la Organización Comunitaria Los Castillos de La Higuera quienes contribuyeron en la ejecución de los cultivos pilotos. A Marcela Ávila por las observaciones a esta publicación.

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO  
Departamento de Repoblación y Cultivo  
División de Investigación en Acuicultura

Registro de Propiedad Intelectual: N° A-306969  
Registro Cámara Chilena del Libro  
ISBN: 978-956-7470-06-8

Este documento debe ser citado como:

Saavedra S, Henríquez L, Leal P, Galleguillos F, Cook S, y Cárcamo F. (2019) - Cultivo de Macroalgas: Diversificación de la Acuicultura de Pequeña Escala en Chile. Convenio de Desempeño, Subsecretaría de Economía y Empresas de Menor Tamaño. Instituto de Fomento Pesquero. 106 pp.

Convenio de Desempeño 2018: “Programa Integral de desarrollo de Acuicultura de Algas para pescadores artesanales”, etapa 2.

**Diseño:** PUERTO SUR Ltda.

**Ilustraciones:** Solange Pacheco O.

**Fotografías:** Marcela Ávila, Francisco Cárcamo, Loreto Carmona, Sebastián Cook, Francisco Galleguillos, Luis Henríquez, Erasmo Macaya, Helmo Pérez, Sandra Saavedra, Guillermo Villegas.



# Cutivo de Macroalgas: Diversificación de la Acuicultura de Pequeña Escala en Chile

#### **Autores:**

**Sandra Saavedra - Luis Henríquez - Pablo Leal  
Francisco Galleguillos - Sebastián Cook - Francisco Cárcamo**

**Departamento de Repoblación y Cultivo  
División de Investigación en Acuicultura  
Instituto de Fomento Pesquero**

## INDICE

PREFACIO	3	AGARÓFITAS	45
INTRODUCCION	4	Pelillo	46
PRIMERA PARTE		Chasca	50
SELECCIÓN DE MACROALGAS PARA EL CULTIVO	7	<i>Ahnfeltia</i>	54
Matriz de selección de especies para el cultivo	8	CARRAGENÓFITAS	59
Cómo usar la matriz de selección	9	Luga roja	60
Ejemplo	12	Luga negra	64
Sistemas de cultivo	13	Chicorea de mar	68
SEGUNDA PARTE		Luga cuchara	72
PRINCIPALES GRUPOS DE MACROALGAS	14	<i>Chondrus</i>	74
Alginófitas	14	COMESTIBLES	77
Agarófitas	20	Luche	78
Carragenófitas	23	Carola	84
Comestibles	24	Cochayuyo	88
Simbología utilizada	28	RESUMEN	92
TERCERA PARTE		Emprendimientos con macroalgas	94
ALGINÓFITAS	31	Distribución regional de centros de investigación que trabajan en cultivos	96
Huiro	32	Trámites para realizar acuicultura de macroalgas	97
Huiro negro	38	Glosario	99
Huiro palo	42	Literatura consultada	101

## PREFACIO

Este manual presenta el estado del arte del cultivo de catorce especies de macroalgas nativas con potencialidades para cultivarlas en Acuicultura a Pequeña Escala (APE) por Organizaciones de Pescadores Artesanales (OPA) y pequeños acuicultores.

Las especies de macroalgas fueron seleccionadas considerando el nivel de avance en investigación y el desarrollo en técnicas de cultivo, ya sea a nivel de laboratorio, hatchery y sistemas de cultivo suspendido o de fondo. La información fue obtenida a partir de una detallada revisión y análisis de informes técnicos, manuales y literatura científica generada como resultado de diferentes proyectos de investigación financiados por el Estado de Chile y ejecutados por Universidades e Institutos de Investigación. Además, se realizó consulta a expertos en el área del cultivo de algas.

Este manual es parte de los resultados del “Programa Integral de Desarrollo de Acuicultura de Algas para Pescadores Artesanales” - Etapa 2, ejecutado desde el 2018 por el Departamento de Repoblación y Cultivo del Instituto de Fomento Pesquero en la región de Los Lagos y en la región de Coquimbo. Siendo su objetivo general facilitar estrategias de desarrollo de la acuicultura de macroalgas en AMERBs y CCAA cuyos titulares sean pescadores artesanales. El trabajo se ha orientado en proponer modelos de gestión, producción y un sistema de indicadores biológicos, económicos y sociales para evaluar el desempeño de la acuicultura de macroalgas a pequeña escala.

Esta publicación se encuentra dirigida a todo público, en especial a pescadores artesanales y acuicultores de pequeña escala, y pretende ser un aporte para mejorar el conocimiento de quienes deseen diversificar su actividad productiva incorporando macroalgas a sus cultivos.



## INTRODUCCION

La acuicultura de macroalgas ha alcanzado importancia mundial. Las macroalgas tienen propiedades físico-químicas y nutricionales que son altamente apreciadas en la industria cosmética, farmacéutica y alimenticia. Se han realizado iniciativas que apuntan a la producción de biocombustibles a partir de algas. Además, se ha propuesto su uso como “especies bioextractivas” en ambientes afectados por la eutrofización costera asociada a la acuicultura intensiva (Acuicultura Multitrófica Integrada) y la captura de carbono.

La acuicultura de macroalgas es una actividad milenaria que ha sido desarrollada principalmente en países asiáticos, donde las macroalgas forman parte importante de la dieta de las personas. Por el contrario, en occidente las macroalgas se comercializan principalmente como materia prima para ser usada en la industria de los ficocoloides, los cuales son polímeros naturales que confieren volumen, textura y viscosidad a una variada gama de productos en la industria cosmética, médica y alimenticia.



Explotación de praderas de Huiro negro en el norte de Chile

Chile es el principal productor de macroalgas de occidente. Sin embargo, el grueso de su producción proviene de la explotación de praderas naturales y en menor escala desde actividades de acuicultura. Durante el año 2018 se extrajeron alrededor de 222 mil toneladas de macroalgas en nuestro país, de este total, destacan especies como huiro negro (*Lessonia berteroana-Lessonia spicata*), pelillo (*Agarophyton chilensis*) y huiro palo (*Lessonia trabeculata*) con un 28.6%, 16,8% y 16.3%, respectivamente. Si bien, la acuicultura en Chile continúa dominada por la salmonicultura, mitilicultura y pectinicultura, el cultivo de macroalgas representa una alter-

nativa de desarrollo que promete diversificar el sector pesquero artesanal, mejorar la economía costera local y disminuir la sobreexplotación de las praderas naturales. Sin embargo, aunque numerosas iniciativas de cultivo han sido desarrolladas por Universidades e Institutos de Investigación (como actividades de escala experimental y piloto en el marco proyectos de investigación), hasta ahora, el cultivo de macroalgas se encuentra representado casi exclusivamente por pelillo (*Agarophyton chilensis*) que sólo alcanza el 1,5% de la producción total de la acuicultura nacional.



Sistema de Cultivo Suspendido de Pelillo en el sur de Chile

Desde hace 15 años se han impulsado políticas públicas orientadas a promover el desarrollo de la acuicultura de pequeña escala (APE), para sumar nuevos productos y oportunidades de mercado. Desde el punto de vista normativo, actualmente existen dos instrumentos que regulan y promueven su desarrollo: el D.S. N° 96 que establece el **Reglamento de Acuicultura en Áreas de Manejo** (2015) y la Ley 20.925 que crea la **Bonificación para la repoblación y cultivo de algas** (2016). La bonificación consiste en un subsidio que beneficia a quienes deseen implementar proyectos de cultivo y repoblamiento de macroalgas. Adicionalmente, se han desarrollado líneas de financiamiento complementarias, como por ejemplo el programa “**Cultiva tu Mar**” del Fondo de Fomento de la Pesca Artesanal, como una vía para financiar el cultivo de macroalgas a pequeña escala. De esta manera, el Estado pretende expandir su cultivo dentro de las comunidades costeras, buscando disminuir la presión extractiva sobre las praderas naturales y de esta forma complementar el desarrollo económico de pequeños productores y pescadores artesanales.

Los espacios geográficos para la implementación de la acuicultura de macroalgas en Chile

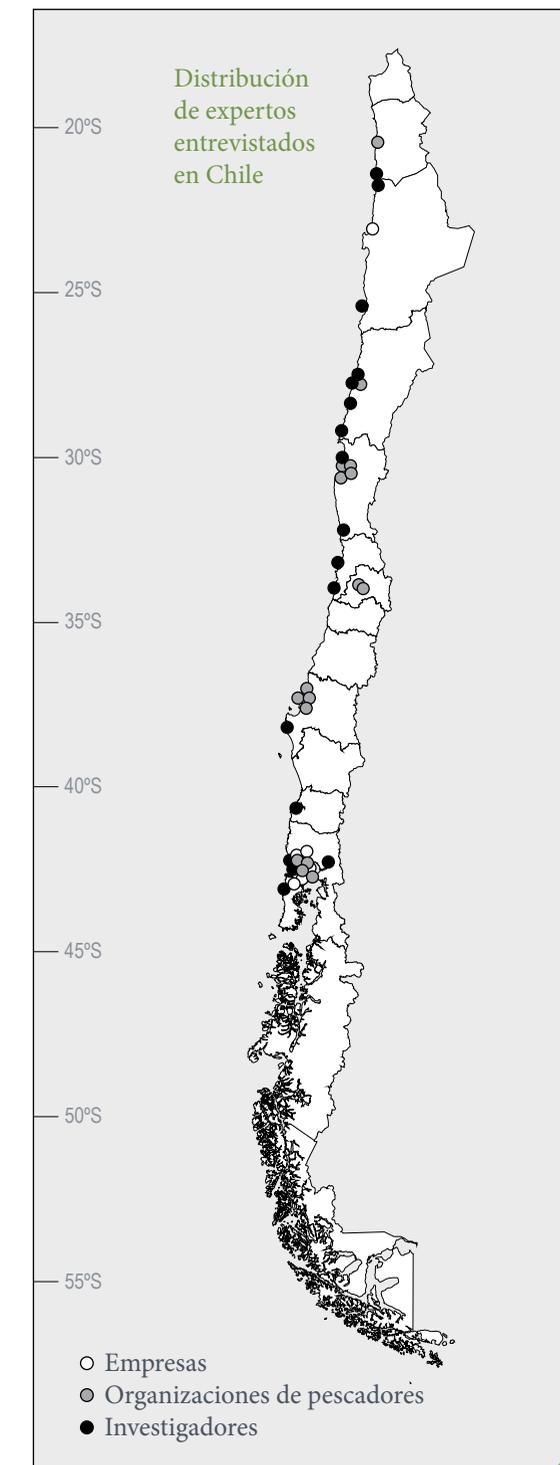
son los asignados a pescadores artesanales a través del régimen de AMERB (potencialmente 50.000 hectáreas) y concesiones de acuicultura CCAA (aproximadamente 1.800 hectáreas destinadas exclusivamente a algas). Sin embargo, antes de implementar los cultivos de algas es necesario identificar una serie de variables socioeconómicas que pueden limitar y condicionar la implementación y comercialización en distintas regiones del país, como por ejemplo: capacidades organizacionales inherentes en cada AMERB, infraestructura, logística y conectividad vial (presencia de caminos y muelles) presencia de centros de Investigación y/o Universidades (apoyo tecnológico), además de particularidades geográficas de cada zona. Un análisis integrado de tales variables puede ayudar al Estado a contextualizar iniciativas de cultivo, aumentando las probabilidades de éxito.

La presente publicación resume las tecnologías de cultivo de catorce especies de macroalgas nativas y la aplicación de una herramienta que permite identificar de forma sencilla la viabilidad del cultivo, basado en su metodología y otras variables tecnológicas.



## SELECCIÓN DE MACROALGAS PARA EL CULTIVO

Chile posee una gran diversidad de macroalgas, algunas de ellas con la posibilidad de ser cultivadas. ¿Cuáles son las que presentan mayor potencial como recurso cultivable por pescadores artesanales titulares de AMERB y/o CCAA? Esta pregunta fue abordada a través de una revisión bibliográfica que incluyó publicaciones científicas, informes de proyectos y manuales de cultivo realizados por Universidades e Institutos de Investigación de nuestro país. Se concluyó que existen al menos 14 especies de macroalgas que presentan algún grado de avance en tecnologías de cultivo (esto incluye etapas de laboratorio, hatchery y sistemas de cultivo piloto en mar) y comercialización. Para complementar esta información, se realizaron entrevistas a 48 expertos de esta actividad a lo largo del país. Las entrevistas incluyeron profesionales del sector académico, funcionarios estatales, representantes de la empresa privada, pequeños productores y líderes de organizaciones de pescadores artesanales. Con toda la información, se construyó una herramienta para la selección de especies y sistemas cultivo capaz de distinguir la tecnología asociada a aquellas especies con mayor potencial de desarrollo y beneficios socio-económicos. Esta herramienta se presenta como una matriz de selección y valoración simple que permite calificar cualitativamente una propuesta de acuicultura de algas. Cada especie es evaluada considerando métodos de cultivo disponibles, su nivel de desarrollo e implicancias ambientales y económicas. La matriz incluye factores de cultivo para cada especie. Cada factor está valorado cualitativamente entre 1 y 4 según corresponda.



## Matriz de selección de especies para cultivo

		RECURSOS														
		Ahnfelta*	Carola	Chicorea de mar	Chondrus	Cochayuyo	Chasca*	Luga roja	Pelillo	Huiro negro	Huiro palo	Huiro	Luga cuchara*	Luche	Luga negra	
FACTORES	Técnica de Cultivo	Cultivo directo (Vegetativo)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
		Cultivo en estacas (Vegetativo)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
		Long-line (de uso vertical)	0	0	2	0	0	0	2	2	0	0	2	0	0	2
		Long-line (de uso horizontal)	0	0	2	0	0	0	2	2	2	2	2	0	0	0
		Sistema "planza"	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
		FDS (Fijación disco secundario)	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Estanques	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0
		Sistema de reticulado horizontal	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0
	Suspendido en redes (vertical)	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	
	Origen y obtención de semillas	Material vegetativo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		Material reproductivo	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Tiempo de cultivo estimado en Hatchery (meses)	No aplica fase de hatchery	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
> 7 - 9		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
~ 6		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Tiempo de cultivo estimado en el mar (meses)	1-3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	6-9 ó mayor	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	3-6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Escala de cultivo	1-3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	Experimental	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Piloto	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Destino de la biomasa	Comercial (> 20 há)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	Polisacáridos - Materia prima	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Alimento	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Rango de distribución de la especie a cultivar	Productos con valor agregado	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	Fuera	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Dentro	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Estado de tramitación	No realizado	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	En trámite	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	Al día	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Experiencia previa de la organización	Sin capacitación	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Con capacitación en cultivo	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	

Los valores relativos se encuentran entre 1 y 4. La mejor puntuación se relaciona con el mayor desarrollo alcanzado.

(\*) No se han desarrollado técnicas de cultivo en mar.

## ¿Cómo usar la matriz de selección?

La matriz posee dos entradas principales. La entrada vertical de ESPECIES (con nombre común) y la entrada horizontal de FACTORES. Cada factor puede ponderar 1, 2, 3 o 4, según su nivel de desarrollo.

**Técnica de Cultivo** es ponderado de acuerdo a los niveles de apropiación por OPAs y al impacto que su implementación puede tener sobre las praderas naturales. 1 = Bajo nivel de apropiación, se requiere equipo y técnicas de laboratorio desarrollados por proyectos de investigación, aunque con bajo impacto en praderas de algas. Además, técnicas de uso común como propagación de clones vegetativos, e.j., pelillo, con gran impacto en las poblaciones de la especie. 2 = Alta apropiación (existe conocimiento para implementar el cultivo de manera sencilla) con cierto avance tecnológico (uso de long-lines), pero a su vez con impacto en praderas naturales, ej., uso de gran volumen de algas para crecimiento vegetativo. 3 = Alta apropiación y bajo impacto en praderas naturales, utiliza baja cantidad de material reproductivo para obtener gran cantidad de esporas (Esporocultivo) en sistemas controlados simples.

**Origen y obtención de semillas:** 1 = desde Material vegetativo. Tiene bajo costo, alta apropiabilidad, pero un costo ambiental alto porque se necesita una cantidad de biomasa desde praderas naturales, por lo tanto, tiene un impacto ambiental. 2 = desde Material reproductivo. Para esto se necesita adecuar un hatchery o invernadero, lo cual aumenta el costo, pero también facilita la obtención

semillas con bajo impacto ambiental. Además, permite integrar la fase de producción propia o compra de semillas y la fase de crecimiento.

**Tiempo de cultivo:** pondera en relación al tiempo de cultivo en una fase determinada (hatchery y/o cultivo en mar) dependiendo de la especie. Mayor tiempo de cultivo menor ponderación.

**Escala de cultivo:** pondera de mejor manera aquellos cultivos que han sido desarrollados a mayor escala. Nivel experimental corresponde a cultivo en condiciones de laboratorio (=1). Nivel piloto corresponde a experiencias para evaluación de desempeño de aspectos productivos (=2). Nivel comercial implica producción masiva de semillas para cultivo extensivos a gran escala (> 20 há) (=3).

**Destino de la biomasa:** La ponderación por especie aumenta si se aleja de la producción de materia prima. Por ejemplo, obtiene mayor valor si existe la posibilidad de ser comercializada para desarrollo de productos con valor agregado (=3).

**Rango de distribución de la especie a cultivar:** se pondera con mayor puntaje si el cultivo se desarrolla dentro del rango de distribución natural de la especie elegida (=2).

**Estado de tramitación:** se pondera de mejor manera si la concesión o área de manejo mantiene sus permisos al día (=3).

**Experiencia previa de la organización:** se pondera de mejor manera aquellas organizaciones o personas que demuestren experiencia previa en cultivo o capacitaciones realizadas en este contexto (=2).

A partir de la matriz se obtienen tres indicadores cuantitativos que ponderan las diferentes especies:

Valor Máximo	<b>VM</b>	Representa la puntuación en condiciones de desarrollo ideales de cultivo para un especie en particular. Este valor simula una condición ideal de cultivo para una especie dada. Por ejemplo, Tiempo de cultivo reducido — 1 a 3 meses (=3); desarrollo a escala comercial (=3); a través de una organización que posee experiencia en cultivo (=3); con tramitación al día (=2); la biomasa es destinada sólo a productos con valor agregado (=3), etc.
Valor Relativo	<b>VR</b>	Corresponde a la puntuación de una propuesta de cultivo bajo las condiciones y modalidades particulares para una especie dada. Este valor considera el nivel de desarrollo alcanzado según experiencias de cultivo existentes para una especie determinada y variará dependiendo de las características individuales del proyecto de cultivo.

Potencial Relativo de Cultivo

**PRC**

Representa un indicador de la viabilidad relativa de un proyecto particular de cultivo para una determinada especie. Es el cociente entre (VR) valor relativo de desarrollo que ha alcanzado una especie y (VM) el valor máximo potencial que podría alcanzar la especie en condiciones ideales. Un PRC igual a 1 representa una propuesta en la cual todos los indicadores de desempeño se han cumplido a cabalidad.

$$PRC = VR / VM$$



Chicorea de mar encordada (Cultivo vegetativo)

Especie y técnica de cultivo	(VM)	(VR)	PRC
Chicoria de mar (Planza)	24	22	0,92
Pelillo ( Reticulado horizontal)	24	22	0,92
Pelillo (Long-line horizontal)	23	21	0,91
Pelillo (Cultivo directo - Vegetativo)	22	20	0,91
Pelillo (Cultivo en estacas - Vegetativo)	22	20	0,91
Chicoria de mar (Long-line vertical)	24	21	0,88
Chicoria de mar (Long-line horizontal)	24	21	0,88
Pelillo (Planza)	24	21	0,88
Huiro (Reticulado horizontal)	24	20	0,83
Pelillo (Long-line vertical)	23	19	0,83
Huiro (Long-line horizontal)	23	19	0,83
Luche	20	19	0,83
Luga Negra (Long line vertical)	22	18	0,82
Huiro Negro (Long-line horizontal)	21	17	0,81
Chicoria de mar (FDS)	24	19	0,79
Huiro (Long-line vertical)	23	18	0,78
Huiro Palo (Long-line horizontal)	22	17	0,77
Huiro (Estanques outdoor)	25	19	0,76
Cochayuyo	20	15	0,75
Chondrus	19	14	0,74
Carola (Suspendido en redes)	23	16	0,70
Luga Roja (Long-line vertical)	21	14	0,67
<i>Gelidium Rex</i>	21	11	0,52
Luga cuchara	21	11	0,52
<i>Ahnfeltia plicata</i>	21	10	0,48

Los valores calculados son relativos y modificables. Dependerán del nivel de desarrollo en que se encuentre el sistema de cultivo, el escalamiento alcanzado o el tipo de producto que se obtiene de ellos, entre otros. Es decir, si existen avances en las tecnologías de cultivo estos valores se corregirán.



## Ejemplo

Una organización de pescadores artesanales decide cultivar “Chicorea de mar” (*Chondracanthus chamissoi*) utilizando long lines horizontales (=2), utilizando tejido vegetativo (=1 en la matriz, porque necesita extraer biomasa desde el ambiente). El tiempo estimado en hatchery no se aplica en este caso ya que no se requiere usar técnicas de esporulación y crecimiento en hatchery (=4, debido a que el tiempo efectivo de cultivo se reduce significativamente, con un beneficio para los acuicultores). El tiempo de cultivo en mar reportado es de alrededor de 6 meses (=2). Este cultivo alcanza escalas experimentales, i.e., desde cultivo en fase de laboratorio hasta 1 o 2 long lines (= 1). El destino de la biomasa es alimento (=2). La especie está dentro de su rango de distribución natural (=2), el estado de tramitación de los permisos necesarios, ya sea en una concesión o AMERB están al día (=3) y el o los acuicultores tienen experiencia en cultivo (=2). Por lo tanto, el VM para Chicoria de mar es 24 y el VR alcanzado según las características enumeradas arriba = 19. Por lo tanto, este cultivo hipotético tiene un Potencial Relativo de Cultivo (PRC) de 0,79.

## Sistemas de cultivo

En general los sistemas de cultivo utilizados en macroalgas son dos: sistema de cultivo suspendido y sistema de cultivo de fondo.

El sistema de cultivo suspendido o long line consiste en mantener mediante flotadores una línea principal o “madre” suspendida de forma horizontal en la superficie o a una determinada profundidad. Este sistema se encuentra unido mediante cabos a un sistema de anclaje o fondeo, por lo general de hormigón o concreto, denominado “muerto”. El sistema de anclaje es fundamental para que la estructura flotante permanezca fija dentro de un sitio definido sobre todo durante marejadas y cambios de mareas. La longitud de la línea madre es variable, depende de los requerimientos y de las condiciones geográficas. Por lo general, se utilizan líneas de alrededor de 100 metros. La siembra de juveniles se realiza sobre el sistema suspendi-

do; adosando en la línea madre otro cabo inoculado con semillas para su crecimiento. Estas líneas pueden ser dispuestas de forma horizontal o vertical según la especie.

El sistema de cultivo de fondo, a diferencia del anterior, es un sistema de cultivo que básicamente no utiliza estructuras externas. Se asemeja a sistemas utilizados en agricultura, donde se siembra directamente al sustrato, mediante herramientas tales como palas u horquillas. Puede ser utilizado en sistemas intermareales y submareales.

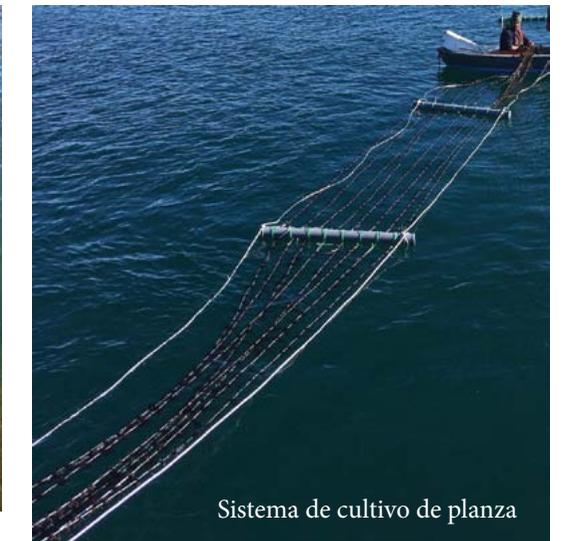
Las variantes para ambos sistemas de cultivo recaen principalmente en el origen de la semilla y al desarrollo tecnológico de diferentes unidades de siembra. Además, en los últimos años se han adaptado sistemas flotantes llamados “de planza”, los cuales maximizan el uso por área de cultivo lineal.



Long line vertical



Long line horizontal



Sistema de cultivo de planza

## PRINCIPALES GRUPOS DE MACROALGAS

### Alginófitas:

A este grupo pertenecen las grandes macroalgas pardas que abundan en la franja costera y el mar interior de nuestro país, formando huirales y praderas, las cuales son esenciales como refugio y áreas de reclutamiento para peces e invertebrados marinos, muchos de importancia comercial. Estas especies producen ácido algínico, el cual es un polisacárido que forma parte de las paredes celulares que conforman el tejido del alga. Esta sustancia tiene la consistencia de goma viscosa y se utiliza en la industria de la alimentación como espesante, en la elaboración del vino se utiliza como agente clarificante y en la formación de espumas en cervezas y champañas. Adicionalmente, una sustancia derivada

del ácido algínico, llamada alginato, es ampliamente usada en la industria formando parte de la elaboración de cremas, detergentes y tintas textiles. En odontología se usa en impresiones dentales.

Las especies que integran este grupo son: *Macrocystis pyrifera* (Huiro), *Lessonia berteroaana-Lessonia spicata* (Huiro negro), *Lessonia trabeculata* (Huiro palo) y *Durvillaea antarctica* (Cochayuyo), esta última de uso generalizado como alimento en la cocina tradicional, con registros que se remontan a épocas precolombinas hace alrededor de 14 mil años.

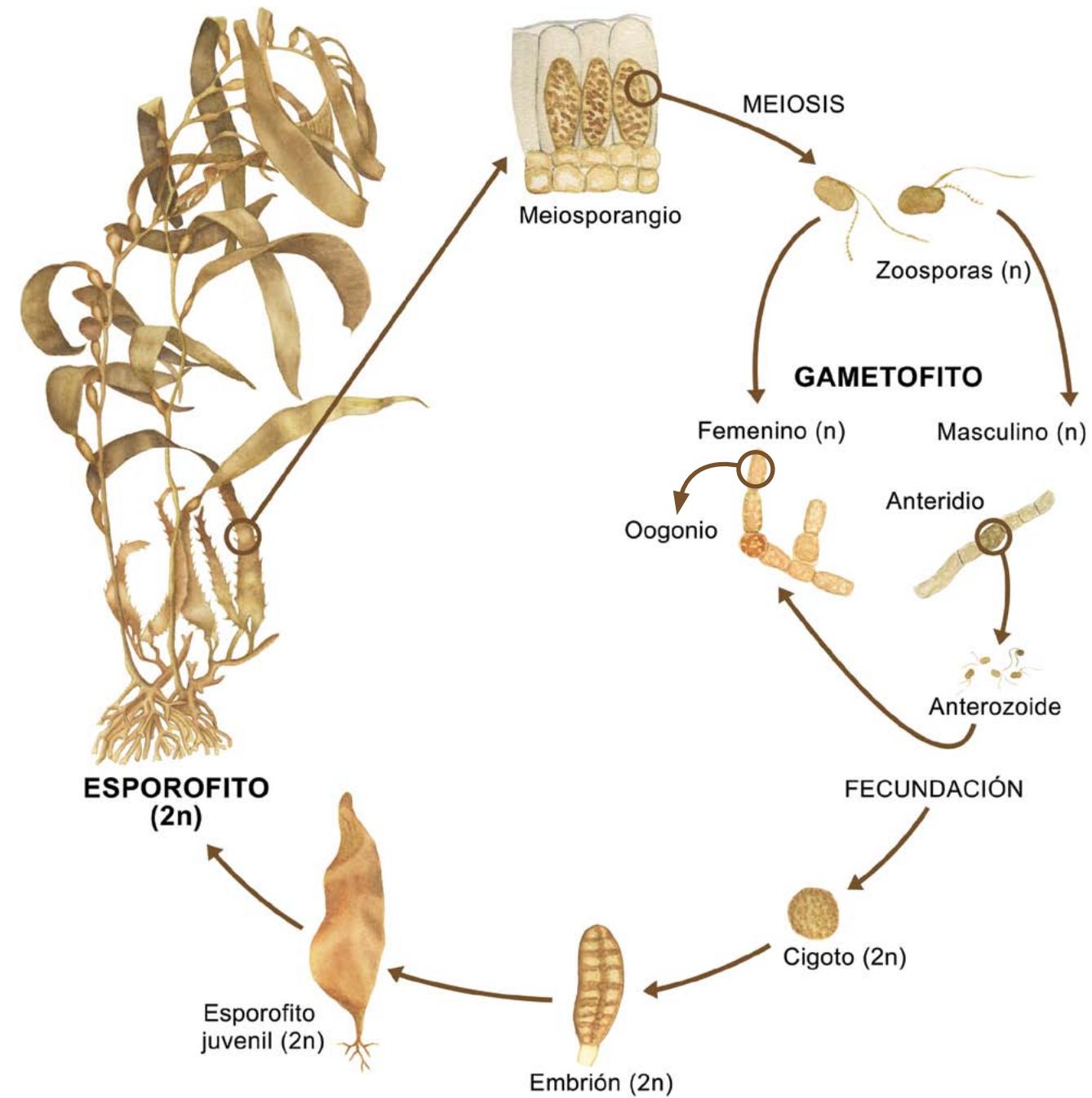
Para este grupo de macroalgas existen dos ciclos de vida representativos y característicos de la clase Phaeophyceae: Ciclo de vida Haplodiplóntico Heteromórfico (Fases de apariencia distinta) y Ciclo de vida Diplóntico (una fase independiente).

El conocimiento de los ciclos de vida nos permite comprender las características reproductivas y las condiciones ambientales óptimas para el desarrollo del cultivo de cada especie.

Intermareal de *Lessonia spicata* (Huiro negro) y *Durvillaea antarctica* (Cochayuyo) en Chiloé, región de Los Lagos.



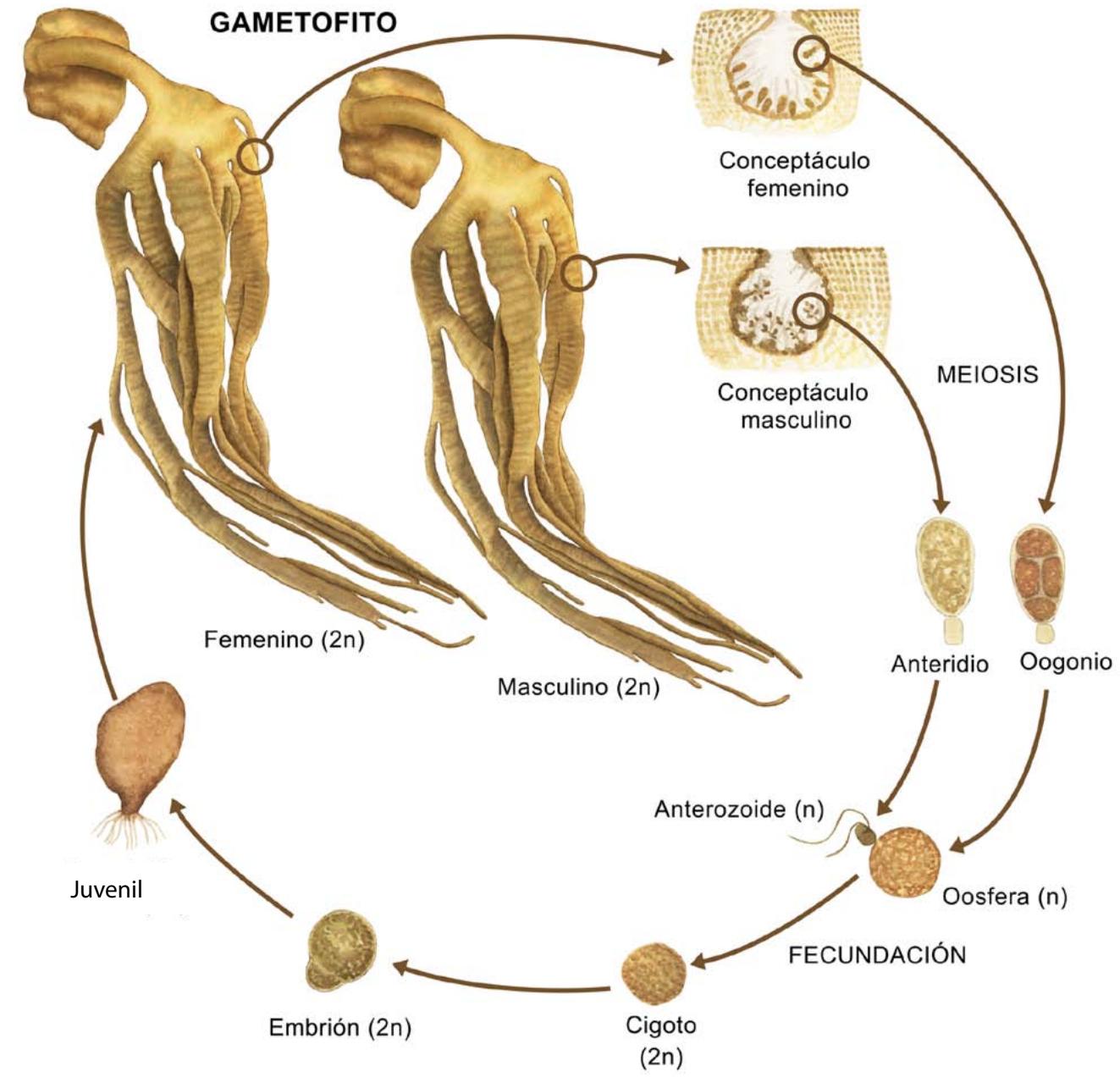
El ciclo de vida Haplodiplóntico Heteromórfico es característico del Huiro (*Macrocystis pyrifera*). Alterna una generación macroscópica diploide (esporofito adulto) con una etapa microscópica haploide (gametofito). Ambas generaciones son independientes una de otra. El esporofito adulto es de gran tamaño (> 2 m). En la época fértil, los esporofitos adultos presentan áreas de coloración oscura, donde se encuentran los soros. Desde esos soros se liberan las esporas (microscópicas y haploides) al medio, que después de asentarse al sustrato, dan origen a gametofitos femeninos y masculinos fértiles (microscópicos y haploides) que mediante el proceso de fecundación originan un esporofito (microscópico y diploide) que posteriormente crece hasta alcanzar el tamaño adulto, completando el ciclo de vida.



Ciclo de vida Haplodiplóntico Heteromórfico de *M. pyrifera* (Huiro)



Por otro lado, el ciclo de vida Diplóntico, es característico de Cochayuyo (*Durvillaea antarctica*). Tiene solo una fase independiente, la fase diploide, que corresponde al alga que vemos en las zonas costeras rocosas. La especie es dioica (hay individuos machos y hembras en plantas separadas), con fases sexuales pequeñas y de corta duración. Los gametos se diferencian dentro de conceptáculos ovoides. Los conceptáculos masculinos, forman los anteridios y los conceptáculos femeninos, originan a los ogonios. Una vez ocurrida la fecundación el cigoto es liberado al agua de mar, posteriormente el cigoto sedimenta, se fija y crece una nueva planta.



Ciclo de vida Diplóntico de *Durvillaea antarctica* (Cochayuyo)

## Agarófitas:

A este grupo pertenecen las algas rojas que forman praderas en la zona intermareal (e.g., pelillo). Son reconocidas como productoras de agar, una sustancia gelatinosa o polisacárido compuesto por un azúcar simple llamado galactosa. Cuando esta se disuelve en agua a alta temperatura y luego se enfría, adquiere una consistencia de gelatina. Su principal uso es como soporte de cultivo en microbiología. También se usa como espesante para sopas, gelatinas, helados y postres, además como agente aclarador de la cerveza.

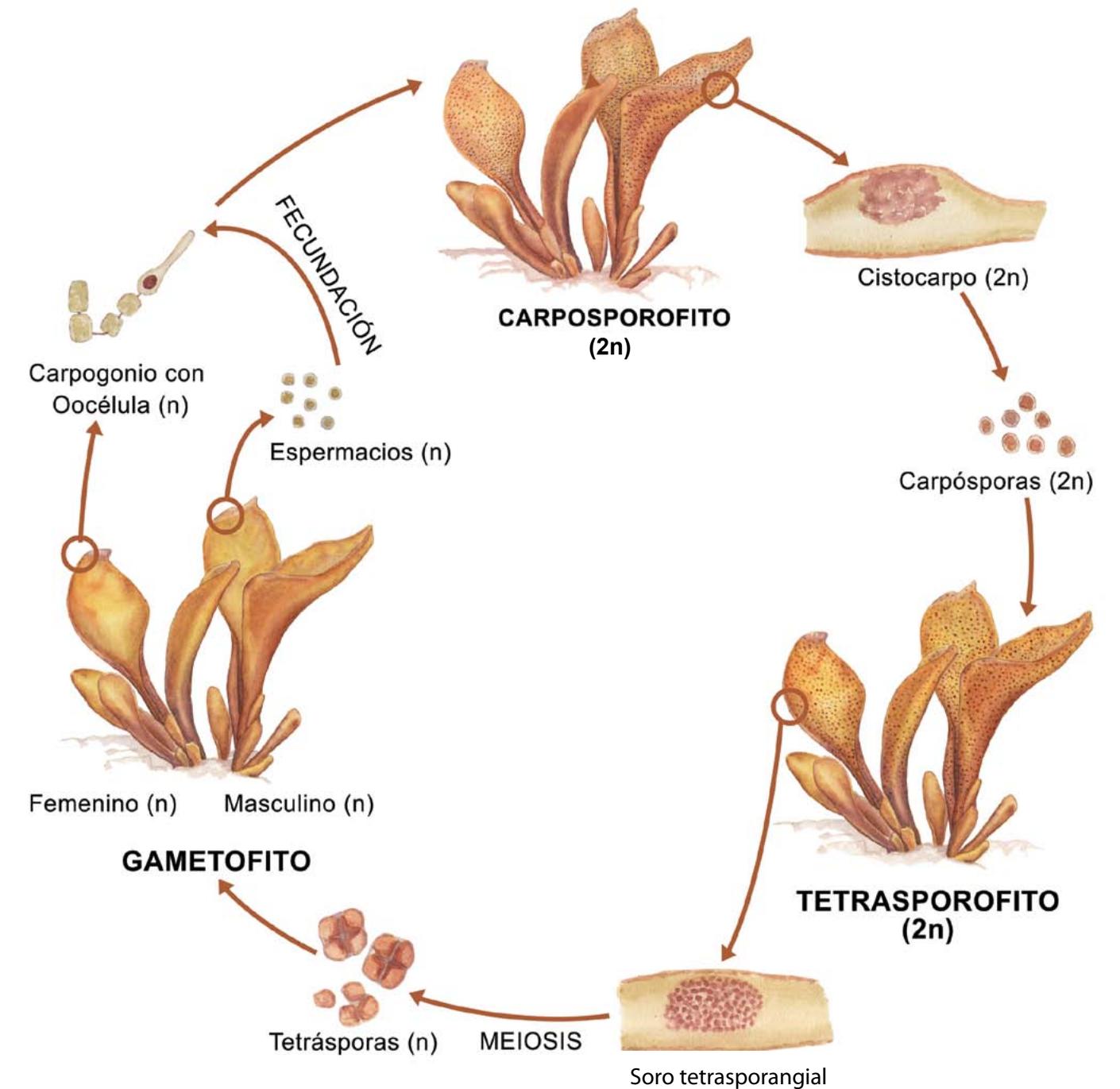
Las especies que integran este grupo son: *Agarophyton chilensis* (Pelillo), *Gelidium rex-Gelidium chilense-Gelidium lingulatum* (Chasca) y *Ahnfeltia plicata*.

Para este grupo de macroalgas existen dos ciclos de vida representativos y característicos de la clase Florideophyceae: ciclo de vida Haplodiplóntico Trifásico Isomórfico (tres fases de apariencia similar) presente en la mayoría de las algas rojas y ciclo de vida Haplodiplóntico Trifásico Heteromórfico (con dos fases de apariencia similar y una fase crustosa, característico de *Ahnfeltia plicata*).

El ciclo de vida Haplodiplóntico Trifásico Isomórfico, es característico de algas rojas como pelillo y luga cuchara. Se caracteriza porque los gametofitos son dioicos (hay individuos machos y hembras), el individuo masculino forma ramillas espermatangiales en la zona apical desde donde se liberan los espermacios, los cuales llegan hasta el carpogonio ubicado en el gametofito femenino mediante la tricógina. Una vez que ocurre la fecundación se origina el carposporofito sobre el gametofito femenino, formándose los cistocarpos. Desde los cistocarpos se liberan las carpósporas que originarán al tetrasporofito. El soro tetraesporangial, libera tetrásporas que originarán nuevamente a los gametofitos.



Pradera natural de *A. chilensis* (Pelillo) en la región de Los Lagos



Ciclo de Vida Haplodiplóntico Trifásico Isomórfico de *M. laminarioides* (Luga cuchara)



Intermareal con presencia de *M. laminarioides*  
en El Manzano, Región de Los Lagos

## Carragenófitas:

A este grupo pertenecen las macroalgas rojas productoras de carrageninas. Las carrageninas son polisacáridos naturales capaces de formar dispersiones coloidales viscosas o geles en medio acuoso y/o lácteo. La carragenina posee diversas funciones de acuerdo con su aplicación: gelificación, espesamiento, estabilización de emulsiones, estabilización de proteínas, suspensión de partículas, control de fluidez y retención de agua. En la industria alimenticia es utilizada como aditivo en helados, flanes, crema de leche, yogures, leche de coco etc., en postres tipo gelatinas, jaleas, dulces en pasta, confites, en productos cárnicos como jamón, mortadela, hamburguesas, pates y carnes procesadas, en clarificación y refinación de jugos, cervezas, vinos y vinagres, en sopas en sobres y salsas listas para pastas.

Otras aplicaciones industriales: pasta dentífrica, odoríficos para el aire, cosméticos, pinturas y emulsiones.

Las especies que integran este grupo son: *Gigartina skottsbergii* (Luga roja), *Sarcothalia crispata* (Luga negra), *Chondracanthus chamissoi* (Chicorea de mar), *Mazzaella laminarioides* (Luga cuchara), *Chondrus canaliculatus* (*Chondrus*) y *Callophyllis variegata* (Carola).

Para este grupo de macroalgas existe un ciclo de vida característico y común: ciclo de vida Haplodiplóntico Trifásico Isomórfico (ya explicado en el grupo de las agarófitas).



Pradera natural de  
*S. crispata* (Luga negra)

## Comestibles:

En este grupo se encuentran algas que además de pertenecer a algún grupo de los mencionados anteriormente, se han caracterizado por constituir parte de la dieta tradicional de comunidades costeras del país. Las más comunes son *Porphyra-Pyropia* spp. o Luche y *Durvillaea antarctica* o Cochayuyo. En los últimos años se han incorporado al mercado gourmet otras macroalgas comestibles (*C. variegata* o Carola, *C. chamissoi* o Chicorea

de mar), principalmente por el reconocimiento de las propiedades nutricionales que poseen como su bajo contenido de calorías y alto contenido de vitaminas y minerales. Las macroalgas contienen más vitaminas A, B12 y C, caroteno, ácido pantoténico, ácido fólico, riboflavina y niacina que frutas y verduras cultivados regularmente en tierra. Además, algunas macroalgas disponen un alto contenido de proteínas, por ejemplo, Luche y Carola tienen más de un 20 %.



Fardo de *Durvillaea antarctica* (Cochayuyo) recién extraído, Llico, región de Los Lagos.



### Productos comercializados en forma tradicional

Los formatos de comercialización tradicional (Cochayuyo y Luche) son deshidratados, cocidos y ahumados. A partir del año 2014 han surgido nuevas formas de presentar el producto (mermeladas, pastas, molido como sazonador, snack, harina) otorgándole un mayor valor agregado.



Productos de algas comestibles incorporando valor agregado



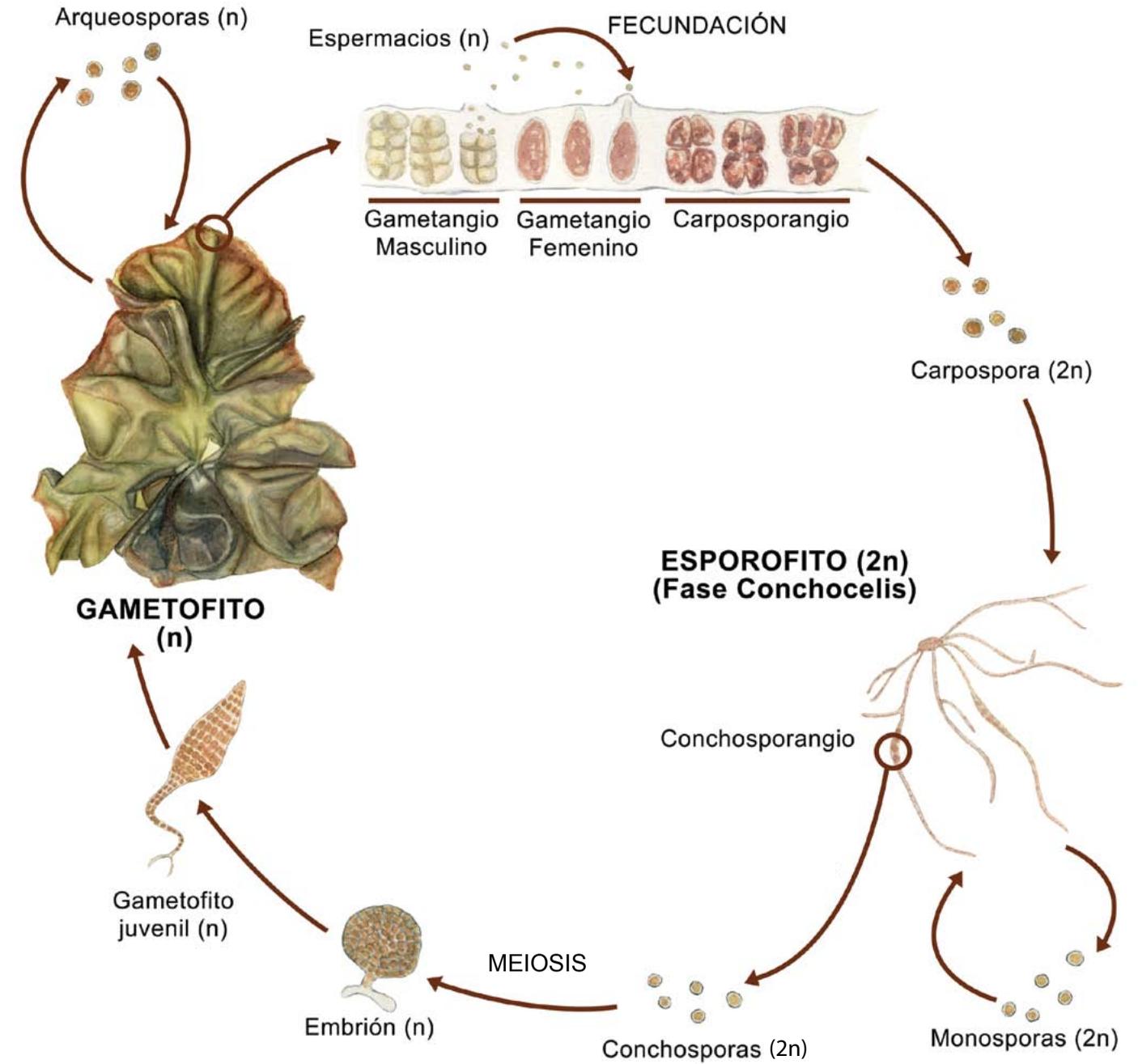
Para este grupo de macroalgas existen tres ciclos de vida representativos: ciclo de vida Diplóntico (Cochayuyo), ciclo de vida Haplodiplóntico Trifásico Isomórfico (algas rojas), ambos ya explicados, y ciclo de vida Haplodiplóntico Heteromórfico (que alterna una generación diploide con una haploide y que no poseen la misma morfología) que es característico de *Porphyra-Pyropia* spp. (Luche).

El ciclo de vida Haplodiplóntico Heteromórfico se caracteriza por tener dos tipos de morfología de acuerdo a la etapa del ciclo de vida. La primera (macroscópica) que es la que se observa en el intermareal y la segunda (microscópica) que tiene la particularidad de desarrollarse al interior de un sustrato calcáreo (conchas de moluscos) para crecer de manera filamentososa y ramificada. La fase macroscópica (gametofitos en el ciclo de vida) posee en los márgenes dos clases de células reproductivas agrupadas en manchones de diferente tipo: las células espermatangiales (espermacios, sin flagelo) ubicadas en el gametangio masculino y las células femeninas (carpogonios) ubi-

cadadas en el gametangio femenino. Hay especies monoicas donde en la misma hoja se encuentran ambas células; en especies dioicas se encuentran en frondas separadas.

Cuando se produce la fecundación se originan las carpósporas en los carposporangios. Cuando las carpósporas maduran, estas son liberadas de la fronda y al germinar se introducen a un sustrato calcáreo dando origen a la “fase conchocelis”. Luego del crecimiento y maduración de la fase conchocelis se genera el conchosporangio donde se producen las conchosporas, las que al madurar salen de la concha y se fijan al sustrato rocoso donde se generarán nuevos gametofitos macroscópicos. En algunas especies (*Pyropia yezoensis*), de los nuevos gametofitos producidos se pueden generar arqueosporas (espora formada por la maduración de una célula vegetativa) las que producirán una nueva fronda u hoja de Luche. En otros casos las monosporas producidas en los márgenes de los talos reproducen las láminas en forma asexual.

*Porphyra-Pyropia* spp (Luche)



Ciclo de vida Haplodiplóntico Heteromórfico de *Porphyra-Pyropia* spp (Luche)

## SIMBOLOGIA:

Se utilizarán diferentes simbologías para indicar características generales y el nivel de desarrollo del cultivo de cada macroalga

CONCEPTO	SIMBOLO	SIGNIFICADO
<b>Características Generales</b>		
Intermareal		Franja comprendida entre la más alta de las pleamares y la más inferior de las bajamares.
Submareal		Zona por debajo del límite inferior de las baja mareas, zona que se encuentra completamente sumergida.
Alginófito		Grupo de macroalgas pardas (Ochrophyta) que producen ácido algínico y compuestos derivados como alginato.
Agarófito		Grupo de macroalgas rojas (Rhodophyta) productoras de agar.
Carragenófito		Grupo de las macroalgas rojas (Rhodophyta) productoras de carrageninas.
Comestible		Macroalgas que pertenecen a diversos grupos (pardas y rojas) y que se han utilizado como alimento humano en forma directa o en la preparación de otros alimentos.
Explotada		Un alga se encuentra explotada cuando es extraída desde praderas naturales y posee registros de desembarque en el Servicio Nacional de Pesca.

CONCEPTO	SIMBOLO	SIGNIFICADO
Interés Comercial		La presencia de este ícono sugiere que el recurso es extraído porque existe un interés por la materia prima principalmente para el mercado de los ficocoloides.
Con Plan de Manejo		La presencia de este ícono en esta publicación advierte que el recurso cuenta con un plan de manejo en alguna región del país. Un plan de manejo es una medida administrativa que limita la extracción y entrega criterios de explotación. Esta medida ha permitido disminuir la actividad ilegal de los recolectores, el barroteo y blanqueo de las especies; situaciones que ponen en peligro la conservación y la sustentabilidad de los recursos.
Libre Explotación		Sin plan de manejo o libre explotación
En Veda		<p>La veda se define como un espacio de tiempo en que se encuentra prohibido extraer un determinado recurso en un determinado lugar. En general, existen tres tipos de veda: veda extractiva (fijada por motivos de conservación de los recursos debido al estado de la población), veda biológica (para resguardar el proceso de reproducción y reclutamiento para asegurar en el futuro el ingreso de nuevos ejemplares a la población) y veda extraordinaria (aplicada cuando se evidencian fenómenos oceanográficos que afectan negativamente a la pesquería).</p> <p>Esta publicación solamente resaltaré que existe o ha existido esta medida administrativa en el país para una determinada macroalga con el fin de realizar un llamado de atención por la situación de extracción en que se encuentra el recurso.</p>

CONCEPTO	SIMBOLO	SIGNIFICADO
<b>Desarrollo del Cultivo</b>		
En Laboratorio		La presencia de este símbolo indica que el desarrollo en fase laboratorio se encuentra completo y por lo tanto estas actividades podrían ser replicadas.
En Hatchery		Tanto el desarrollo del cultivo en fase laboratorio y hatchery se encuentran completos y es posible que sean replicados.
En mar		El desarrollo de la fase en el ambiente marino (de fondo o long-line suspendido) se encuentra completo y puede ser replicado. Indica que las fases de laboratorio y de hatchery también han sido desarrolladas por completo. El cultivo puede ser replicado o transferido a OPA para diversificar sus actividades productivas.
Factor Crítico		Este símbolo advierte cuáles son las condiciones más importantes a tener en cuenta para que el desarrollo del cultivo sea exitoso.



# ALGINÓFITAS

# HUIRO

Otros nombres: Huiro Macro, Huiro Flotador, Sargazo, Canutillo

Phylum: Ochrophyta

Orden: Laminariales

Familia: Laminariaceae

Especie: *Macrocystis pyrifera*



Esta especie se caracteriza por presentar un disco basal cónico en el litoral expuesto, y plano, extendido y de gran tamaño en zonas del mar interior y los canales del sur. El disco se encuentra formado por numerosos hapterios, mediante los cuales se adhiere al sustrato. Desde esta base crecen numerosos estipes cilíndricos de gran longitud, que terminan en láminas de hasta 70 cm de largo. Estas láminas además poseen una estructura llamada aerocisto que le otorga flotabilidad por encontrarse llenas de aire. Se han encontrado individuos de hasta 45 metros de largo. Posee una amplia distribución mundial. En Chile, se distribuye desde Arica al Cabo de Hornos en parches de tamaño irregular a lo largo de la costa. Sin embargo, la mayor biomasa de poblaciones naturales se encuentra desde Puerto Montt hasta Magallanes. Habita desde la zona intermareal hasta unos 40 metros de profundidad, donde puede formar bosques submareales sobre sustrato rocoso o arena gruesa. Posee un ciclo de vida Haplodiplóntico Heteromórfico. Históricamente esta alga ha sido utilizada en la agricultura como fertilizante, posteriormente se ha explotado para la extracción de alginatos, como alimento para el cultivo de otras especies como el abalón, para la obtención de biocombustibles y últimamente como alimento humano (solo plantas juveniles) para lo cual es imprescindible el cultivo.



Frondas de *M. pyrifera* (Huiro) con hábito típico del litoral expuesto

El precio varía dependiendo su uso. El valor que se ha registrado en playa, extraído desde praderas naturales, se encuentra entre los \$80 a \$800/Kg húmedo, materia prima destinada principalmente para la industria de los alginatos. Desde el cultivo se ha tranzado para exportar a China a US\$3/Kg (precio FOB) destinado para consumo humano cocido y salado. Este recurso ha sido bastante investigado, se han realizado numerosas experiencias y pruebas de cultivo tanto en laboratorio, en hatchery como en sistemas de cultivo suspendido,



Lámina reproductiva (esporofila) de Huiro. El óvalo oscuro indica la presencia de soros esporangiales donde se encuentran las esporas.

## ¿CÓMO CULTIVO HUIRO?

### Etapa Laboratorio

Esta etapa comprende la esporulación, la germinación de las esporas y la formación de esporofitos juveniles en laboratorio o hatchery.

Para iniciar el proceso de cultivo se debe recolectar esporofilas fértiles desde un parche o población costera preferentemente durante el verano, donde las esporofilas están totalmente maduras (sin embargo, el tiempo propicio puede variar a lo largo de Chile), y luego ser transportadas al laboratorio en bolsas plásticas dentro de recipientes térmicos. En el laboratorio las frondas son lavadas con agua de mar filtrada para eliminar epibiontes, secadas con papel absorbente y depositadas en bolsas plásticas en una cámara de cultivo o refrigerador a 8°C en oscuridad. Después de 12 horas, las esporofilas son sometidas a un shock osmótico y de temperatura dentro de algún recipiente con agua de mar a temperatura y luz ambiente para iniciar la

liberación de esporas (zoosporas). La solución de agua de mar y esporas se deposita en un estanque adicional, donde se disponen sustratos de siembra adecuados, generalmente cabos de polipropileno dispuestos en bastidores para la etapa de crecimiento o hatchery. Este recipiente debe contener agua de mar enriquecida con algún medio de cultivo (e.g., Provasoli, Protocolo de preparación en página 36) que aporta los macro y micronutrientes necesarios para el crecimiento. De manera alternativa, se puede utilizar agua de mar que contiene nutrientes de manera natural, pero se requiere mayor recambio. Las condiciones de cultivo en laboratorio para etapas microscópicas son: temperatura entre 12-16°C, intensidad de luz entre 40-60  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  y fotoperiodo de 16:8 h (luz: oscuridad).

También existe la posibilidad de cultivar la solución de esporas mediante una técnica de cultivo conocida como free-floating que consiste en obtener esporofitos juveniles que son cultivados en agua de mar enriquecida con aireación y agitación constante. Los individuos juveniles flotan libres

dentro de botellas de 10 litros; a medida que los esporofitos crecen el volumen del contenedor debe ir aumentando hasta ser trasladados al hatchery.

### Etapa Hatchery

Comprende el crecimiento de los esporofitos en condiciones controladas y el manejo para su traslado al mar.

En esta etapa esporofitos diminutos adheridos a los cabos de los bastidores se mantienen en estanques de 1000 litros para su crecimiento, cuando las plántulas alcanzan un tamaño superior a los 8 cm y el disco de fijación ya se ha adherido a la cuerda son trasladadas al mar. Por lo general, la densidad de las plántulas que se obtienen con este sistema es variable.

Por otro lado, si las plántulas son obtenidas con la técnica de free-floating, estas son trasladadas a estanques de 800 litros donde permanecen por alrededor de 30 días. En este periodo las plantas han desarrollado el disco de

fijación y han alcanzado una longitud de alrededor de 8 cm. Con este tamaño se inicia el proceso de encordado (colocar una a una las plántulas en el entramado de una cuerda). Para ello se utilizan cuerdas de 3 o 4 mm de diámetro, a la densidad deseada (alrededor de 10 esporofitos  $\text{m}^{-1}$ ) para posteriormente llevarlas al mar. Esta técnica permite controlar la densidad en las cuerdas de siembra disminuyendo la alta variabilidad de crecimiento observado en cultivos provenientes de inoculación directa con esporas.

Las condiciones de cultivo de la etapa de hatchery para plántulas corresponde a 12:12 h (luz: oscuridad) y entre 10 - 12°C.

El traslado de las cuerdas con esporofitos juveniles se realiza en estanques de 200 litros con agua de mar o bien en contenedores térmicos con esponjas humedecidas en agua de mar y a baja temperatura, 10-12°C.

Frondas fértiles y solución de esporas

Solución de esporas con medio de cultivo enriquecido

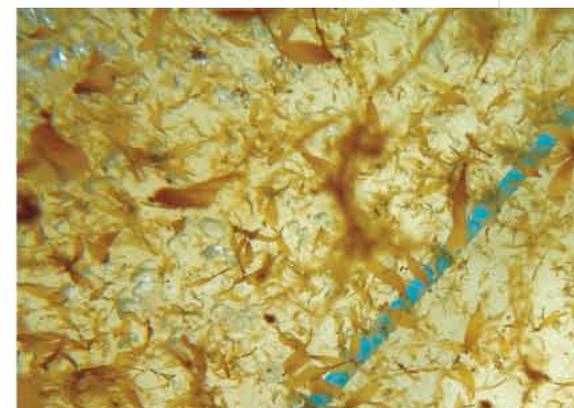
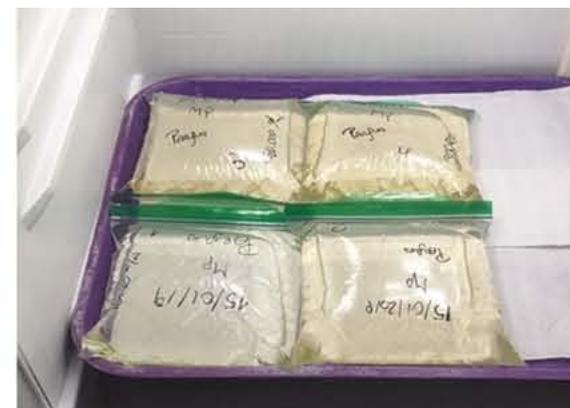
Matraz con esporofitos juveniles

Juveniles de *M. pyrifera* en free-floating

Traslado de juveniles en contenedores térmicos

Líneas inoculadas con juveniles de free-floating

Instalación de juveniles sobre línea madre en long line



## Etapa Mar

Esta etapa comprende desde la instalación de los cabos con plántulas encordadas sobre la línea madre del long line hasta la cosecha. En el sitio de cultivo, las plántulas inoculadas o encordadas son fijadas mediante amarracables a la línea madre (cuerda de 22 mm de diámetro), usualmente de 100 m de longitud.

### PROTOCOLO PREPARACIÓN PES PARA MEDIO DE CULTIVO PROVASOLI



Solución madre:

- 0.0024 g Sulfato de Cobalto II  $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
- 0.5 g Titriplex III

#### Solución A

- 0.351 g Amonio – Fierro – II – Sulfato  $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$
- 0.3 g Titriplex III

#### Solución B:

disolver en 500 ml de agua destilada

- 0.57 g Ácido Bórico  $\text{H}_3\text{BO}_3$  (disolver aparte, previamente en agua caliente)
- 0.0245 g Cloruro Férrico  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (disolver aparte)
- 0.082 g Sulfato de Manganeso  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- 0.011 g Sulfato de Zinc  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

#### Solución C:

disolver en 500 ml de agua destilada

- 0.0002 g Vitamina B12
- 0.01 g Tiamina
- 0.0001 g Biotina
- 10 g Tris – buffer

#### Solución D:

colocar en un matraz de 3,000 ml

- 7 g Nitrato de sodio  $\text{NaNO}_3$
- 1 g Glicerofosfato de sodio  $\text{C}_3\text{H}_7\text{Na}_2\text{O}_6\text{P} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Mezcle todas las soluciones y los reactivos secos y agregue agua destilada hasta tener un volumen final de 3,000 ml, correspondientes a la solución madre para medio Provasoli. Ajuste a pH 7,8 con soluciones de HCl o NaOH 1N. Esterilice en autoclave durante 20 min a 120°C. Conserve refrigerada en envases de volúmenes pequeños para facilitar su manipulación y evitar la contaminación. Agregue 20ml de la solución madre (PES) a 1,000 ml de agua de mar filtrada y estéril, dentro de una cámara de flujo laminar.

El medio de cultivo Provasoli es un medio nutritivo cuya función es aportar los macro y micro elementos nutricionales que permiten el desarrollo y crecimiento de los estados tempranos de las macroalgas. Posteriormente se utiliza abono foliar comercial.

## Producciones

Los niveles de producción publicados han sido diversos y su variabilidad ha dependido tanto de la localidad como del periodo de tiempo de permanencia en cultivo. Las producciones publicadas van entre  $14 \text{ Kg m}^{-1}$  y  $80 \text{ Kg m}^{-1}$ , durante cuatro y diez meses de cultivo dependiendo de la técnica usada, latitud y temporalidad.

### FACTORES CRÍTICOS DEL CULTIVO

La implementación y rendimiento de los cultivos dependen de la estacionalidad, sitio del cultivo, así como del origen y calidad del material reproductivo utilizado. Existe un efecto negativo de los epibiontes (por ejemplo, mitílidos, cirripedios) sobre los sistemas de cultivo flotante, así como especies de macroalgas de rápido crecimiento (por ejemplo, *Ulva* spp.) sobre las líneas de cultivo en primavera. Se recomienda implementar el cultivo durante los meses de otoño e invierno y cosechar antes de comenzar el verano para reducir el efecto negativo del epifitismo. Es primordial la limpieza y mantención de líneas de cultivo en el mar.

#### PRODUCCIONES DE HUIRO, CULTIVO EN MAR

$80 \text{ Kg m}^{-1}$ en 10 meses	Westermeier et al., 2006
$14 \text{ Kg m}^{-1}$ en 8 meses	Gutiérrez et al., 2006
$22 \text{ Kg m}^{-1}$ en 4 a 5 meses	Macchiavello et al., 2010
$25 \text{ Kg m}^{-1}$ en 9 meses	Correa et al., 2014
$17 \text{ Kg m}^{-1}$ en 6 meses	Guisado et al., 2017
$15 \text{ Kg m}^{-1}$ en 5 y 6 meses	Camus et al., 2017



## HUIRO NEGRO

Otro nombre: Chascón

Phylum: Ochrophyta

Orden: Laminariales

Familia: Laminariaceae

Especie: *Lessonia berteroa*

*Lessonia spicata*

*L. berteroa* y *L. spicata* son macroalgas de color verde parduzco, pertenecen al complejo *Lessonia nigrescens*. Morfológicamente indistinguibles por lo que se han clasificado como especies crípticas, pero se hallan reproductivamente aisladas entre sí. En general, se considera que son el resultado de eventos recientes de especiación donde similitudes morfológicas se mantienen porque ocupan ambientes similares. Habitan a lo largo del litoral rocoso de la zona intermareal, formando cinturones de ancho variable desde 2 metros hasta 15 metros aproximadamente.

*L. berteroa* habita desde el paralelo 16°S al 30°S, mientras que *L. spicata* desde el 29°S al 42°S. Posee una gran importancia ecológica, favorece el reclutamiento de otras especies ya que el disco de fijación actúa como refugio de especies tales como larvas, juveniles y adultos de distintas especies de invertebrados (crustáceos, moluscos y poliquetos).



Su ciclo de vida corresponde al típico del orden Laminariales (Haplodiplontico Heteromórfico). El género *Lessonia* no presenta esporofilas, por lo que las esporas son producidas en soros (estructuras reproductivas) que se encuentran ubicadas sobre las láminas u hojas de la planta. Se reconoce porque poseen una coloración más oscura en forma ovoidal. Esta alga se encuentra reproductiva todo el año. El cigoto genera un disco de fijación desde el cual crecen estipes cilíndricos que luego se aplanan formando la lámina vegetativa cuyo ápice se divide en dos (división dicotómica). Esta alga ha sido fuertemente explotada principalmente en el norte de Chile para la producción de alginatos. Los precios transados se

encuentran alrededor de \$480/kilo tanto para producto seco y semi elaborado. La especie más estudiada desde el punto de vista del cultivo es *L. spicata*, mientras que la que se extrae y exporta es *L. berteroa*. Se ha sugerido una revisión de los estudios que determinan los planes de manejo de estas especies, como también acciones de repoblamiento debido a la fuerte explotación a que se encuentran sometidas estas especies. Desde el punto de vista del cultivo, se han desarrollado algunas experiencias de inducción artificial de liberación de esporas y posterior desarrollo de gametofitos y esporofitos en laboratorio y hatchery.

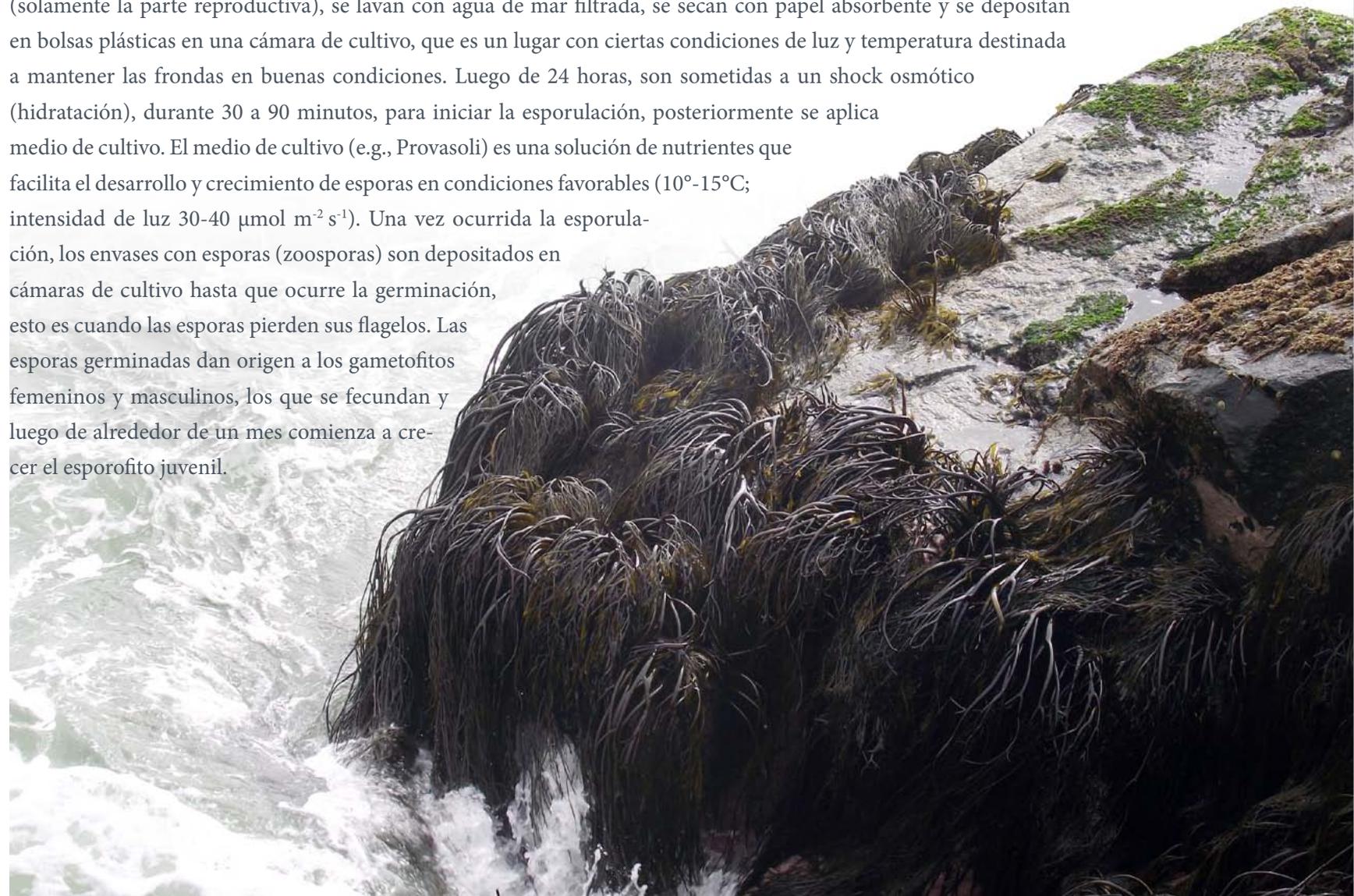


Intermareal con *L. spicata* (Huiro negro)

## ¿CÓMO CULTIVO HUIRO NEGRO?

### Etapa Laboratorio (en general el cultivo de esta macroalga es muy similar al de *M.pyrifera*)

Para comenzar con el cultivo es necesario extraer del medio frondas o láminas fértiles (con presencia de soros) que son transportadas en bolsas plásticas a baja temperatura (cooler) hasta el laboratorio. Luego las frondas se seleccionan (solamente la parte reproductiva), se lavan con agua de mar filtrada, se secan con papel absorbente y se depositan en bolsas plásticas en una cámara de cultivo, que es un lugar con ciertas condiciones de luz y temperatura destinada a mantener las frondas en buenas condiciones. Luego de 24 horas, son sometidas a un shock osmótico (hidratación), durante 30 a 90 minutos, para iniciar la esporulación, posteriormente se aplica medio de cultivo. El medio de cultivo (e.g., Provasoli) es una solución de nutrientes que facilita el desarrollo y crecimiento de esporas en condiciones favorables ( $10^{\circ}$ - $15^{\circ}$ C; intensidad de luz  $30$ - $40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Una vez ocurrida la esporulación, los envases con esporas (zoosporas) son depositados en cámaras de cultivo hasta que ocurre la germinación, esto es cuando las esporas pierden sus flagelos. Las esporas germinadas dan origen a los gametofitos femeninos y masculinos, los que se fecundan y luego de alrededor de un mes comienza a crecer el esporofito juvenil.



### Etapa Hatchery

Los esporofitos pueden ser utilizados en dos procesos:

- 1.- Pre-cultivo en cuerda, los esporofitos son fijados en cuerdas (bastidores) dentro de estanques con agua de mar hasta que alcanzan un tamaño adecuado (2 cm) para ser trasladados al mar.
- 2.-Pre-cultivo free floating, los esporofitos se mantienen flotando libremente en agua de mar dentro de matraces hasta alcanzar un tamaño adecuado (4 cm) para ser puestos en cuerdas (encordado) y posteriormente llevados al mar. Las condiciones óptimas son  $15$ - $16^{\circ}$ C e iluminación de  $37$ -  $46 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

A medida que las plantas crecen la densidad de cultivo va disminuyendo, hasta llegar a una densidad aproximada de 25 plantas por litro.

El traslado de los cabos con plántulas al mar se realiza en contenedores (cooler) con esponjas humedecidas con agua de mar y a baja temperatura ( $10$ - $12^{\circ}$ C).

### Etapa Mar

En esta etapa las cuerdas con las plántulas (inoculadas o encordadas) provenientes de la etapa hatchery son adheridas a la línea madre (cabo de 22 mm de diámetro) de un sistema long line de 100 metros de longitud, a la profundidad más adecuada según la localidad.

Las plántulas (inoculadas o encordadas) son adheridas a la línea madre mediante amarracables o bien enrolladas alrededor del cabo principal.

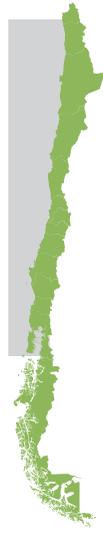
## FACTORES CRÍTICOS DEL CULTIVO

El cultivo en etapa mar solamente se ha desarrollado de forma experimental, desde este punto de vista faltan antecedentes científicos y productivos respecto a la estacionalidad, profundidad de cultivo, origen y calidad del material reproductivo, además del comportamiento latitudinal entre otros factores.

### PRODUCCIONES DE HUIRO NEGRO, CULTIVO EN MAR

67 cm en 7 meses

Ávila et al., 2017



## HUIRO PALO

Phylum: Ochrophyta

Orden: Laminariales

Familia: Laminariaceae

Especie: *Lessonia trabeculata*



Esta alga es de color café, con forma de arbusto de hasta 2.5 m de alto, se fijan al sustrato por un disco adhesivo o grampón de hasta 20 cm de alto, irregular, formado por hapterios fusionados. Los estipes son de número variable divididos en forma dicotómica terminando en una fronda. La fronda u hoja lanceolada tiene márgenes lisos y dentados. Habita ambientes submareales y forma bosques en áreas expuestas y semiexpuestas hasta 20 m de profundidad desde Arica hasta Chiloé. Presenta ciclo de vida Haplodiplóntico Heteromórfico como todas las macroalgas pertenecientes al orden Laminariales. Esta alga ha sido utilizada para la extracción de alginatos, como alimento en el cultivo de abalones y erizos, como biocombustibles, en biomedicina, como estimulantes de crecimientos en agricultura, sin embargo, se extrae principalmente para ser exportada como alga seca. El precio promedio registrado en playa a lo largo de Chile es de \$290 /Kilo húmedo, destinado a planta. A nivel piloto se han desarrollado iniciativas de cultivo para producir plántulas que luego se han trasladado al mar para su crecimiento.

## ¿CÓMO CULTIVO HUIRO PALO?

En general, el cultivo de las algas pardas se realiza de manera similar.

### Etapa Laboratorio y Etapa Hatchery

Para comenzar el cultivo es necesario coleccionar frondas reproductivas desde el medio natural. Las frondas deben transportarse en bolsas plásticas a baja temperatura (cooler) hasta el laboratorio donde se seleccionan y luego se lavan con agua de mar estéril. Las frondas se dejan en papel absorbente por 12 horas en oscuridad. Luego son rehidratadas con agua de mar filtrada para que se produzca la liberación de esporas. Las esporas (zoosporas) pueden ser usadas en dos procesos:

1. Precultivo en cuerda, las esporas germinan dando origen a los gametofitos masculino y femenino los que se fecundan y originan los esporofitos juveniles que se fijan a las cuerdas (bastidores) que se encuentran dentro de estanques con agua de mar enriquecida con nutrientes, a 17°C, fotoperiodo de 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad e iluminación de 37 - 46  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ; se deja en reposo sin realizar mayor manejo por un periodo de 10 días; posteriormente, se realiza la renovación de agua de mar enriquecida con una frecuencia de 7 días hasta que los esporofitos se encuentren aptos (tamaño 2 cm) para ser trasladados al mar.

2. Precultivo en suspensión (free-floating,) los esporofitos se mantienen flotando libremente en agua de mar dentro de probetas hasta alcanzar un tamaño adecuado (4 cm) para ser puestos en cuerdas (encordado) y posteriormente llevados al mar. El cultivo de esporofitos en suspensión se maneja realizando renovación de agua y nutrientes cada 7 días y manteniendo las condiciones ambientales de 15-17°C e Iluminación de 37  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .



Esporofitos juveniles inoculados sobre cuerda (vistos a través de lupa)



Encordado de esporofitos juveniles



Cuerdas con plántulas para instalación en mar

# AGARÓFITAS



Instalación de plántulas juveniles sobre cabo principal, mediante buceo



Cabo con plántulas de huiro palo enrollado sobre cabo principal



Plantas provenientes de cultivo suspendido

El traslado de las cuerdas inoculadas o encordadas, al igual que en la mayoría de las macroalgas, se realiza en contenedores (cooler) con esponjas humedecidas con agua de mar y a baja temperatura (8-12°C).

## Etapa Mar

Esta etapa consiste principalmente en colocar las cuerdas, con plántulas juveniles inoculadas o encordadas, amarradas a la línea madre o cabo principal de 22 mm de diámetro y 100 m de longitud, a la profundidad más adecuada para cada localidad.

Las cuerdas con plántulas inoculadas o encordadas a una densidad de 6 individuos  $m^{-1}$ , son adheridas a la línea madre mediante amarracables o bien son enrollándolas alrededor del cabo principal.

En el norte de Chile, luego de 26 meses de cultivo a 8 m de profundidad, se obtienen plantas de hasta 1 metro de longitud.

## FACTORES CRÍTICOS DEL CULTIVO

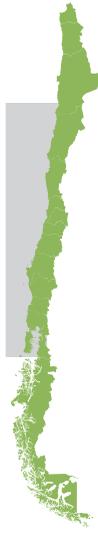
El cultivo en etapa mar se ha desarrollado solamente en forma experimental, caracterizándose por presentar una baja tasa de crecimiento. Sin embargo, las plantas obtenidas al final del cultivo alcanzan la madurez reproductiva. Aún faltan antecedentes productivos de cultivos donde se consideren factores tales como estacionalidad, profundidad de cultivo, origen y calidad del material productivo, comportamiento latitudinal, entre otros.

### PRODUCCIONES DE HUIRO, CULTIVO EN MAR

1 m longitud y 1250 g en 26 meses

Westermeier et al., 2016





## PELILLO

Phylum: Rhodophyta

Orden: Gracilariales

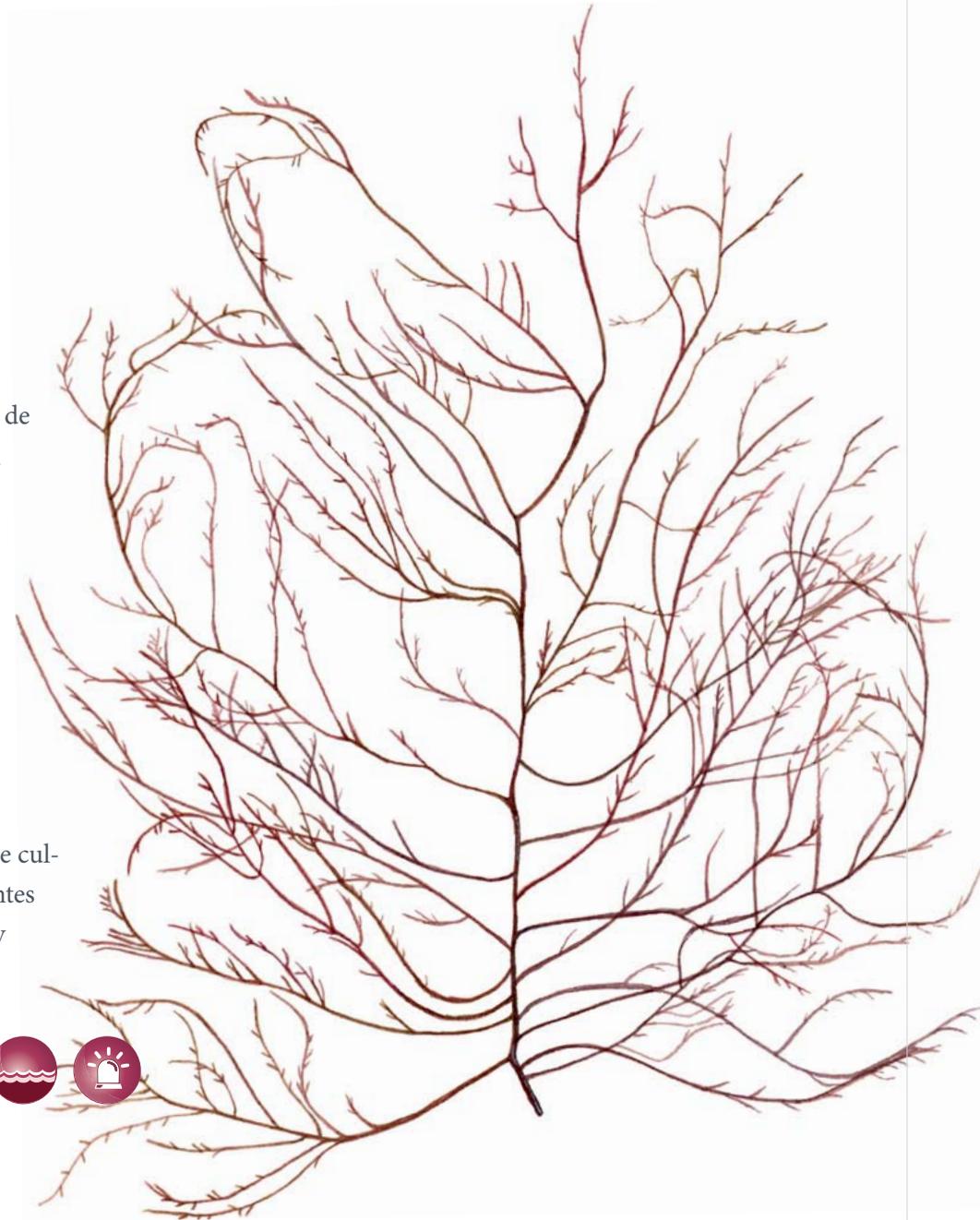
Familia: Gracilariaceae

Especie: *Agarophyton chilensis*

ex *Gracilaria chilensis*

Esta alga se distribuye desde la región de Atacama hasta la región de Los Lagos. Es extraída desde el intermareal y submareal, es una de las principales fuentes de ingresos para algunas comunidades costeras. Habita fondos duros y fangosos en bahías y zonas estuarinas. Se encuentra hasta los 25 m de profundidad. Posee un ciclo de vida Haplodiplóntico Trifásico Isomórfico. Esta alga es utilizada para la extracción de agar, compuesto químico importante en procesos productivos para la industria farmacéutica y alimentaria. El precio promedio transado en playa es de \$50 /Kilo húmedo.

El cultivo de esta especie ha sido altamente exitoso. La técnica de cultivo a lo largo del país ha sido diversa, se han probado diferentes metodologías, dependiendo principalmente de la naturaleza y comportamiento del sustrato.



Las técnicas probadas para obtener biomasa cosechable en el mar son: siembra directa, indirecta o cultivo suspendido.

El método de siembra directa consiste en plantar talos individuales o “manojos” de pelillo en el fondo, mediante horquetas o herramientas que permitan hacer surcos sobre sustratos blandos.

Los métodos de cultivo indirectos, dependen de alguna estructura de soporte que los fija al fondo como mangas de polietileno (chululos), piedras (matapiedras) o estacas donde se disponen los talos de pelillo. Las mangas de polietileno se dejaron de utilizar porque constituían una fuente de contaminación que se acumulaba en las playas luego de la cosecha.

En ambos métodos de cultivo se utilizan plantas adultas (tejido vegetativo) como medio de propagación y crecimiento.

Cuando la siembra se realiza en cultivos suspendidos existen dos opciones:

1. Método vegetativo de propagación, es decir, colocar talos individuales o manojos de pelillo en cuerdas (en cordado) y luego colocar estas cuerdas atadas horizontalmente a estacas enterradas.
2. Método de cultivo mediante talos originados a partir de esporas; en este caso es necesario la utilización de Laboratorio y Hatchery antes de trasladarlas al cultivo de mar.



## ¿CÓMO CULTIVO PELILLO?

### Etapa Laboratorio y Hatchery - Método mediante esporas

Para comenzar con el cultivo se deben seleccionar talos reproductivos desde el medio natural y trasladarlos al hatchery donde se limpian y aplican estímulos de desecación para provocar la liberación de esporas. Las esporas obtenidas se siembran sobre bastidores y luego de aproximadamente 2 a 3 meses las cuerdas con plántulas son trasladadas a un sistema de pre-crecimiento en el mar.

### Etapa Mar

Las cuerdas con plántulas que son trasladadas al mar para pre-crecimiento se instalan atadas a estacas enterradas en el fondo en líneas de 10 m longitud y separadas 0.5 m entre sí. Estas algas pueden cultivarse en el mar hasta su cosecha o bien esperar un desarrollo temprano (cuando alcanzan 20 cm) para luego sacarlas y llevarlas nuevamente al Hatchery donde se entrelazan a otra cuerda para ser trasladadas a diferentes centros de cultivo.

El cultivo suspendido se ha utilizado comercialmente y es una opción viable para la diversificación en lugares donde las condiciones ambientales han permitido su desarrollo. El cultivo suspendido se ha llevado a cabo con plántulas provenientes de hatchery, es decir, plántulas provenientes de cultivo mediante esporas; esta técnica ha sido desarrollada por la empresa Algas Marinas. Existen experiencias en Mejillones y Ancud donde esta empresa provee, a organizaciones de pescadores artesanales interesadas en desarrollar este cultivo, algas encordadas para su crecimiento en el mar.



### PRODUCCIONES DE PELILLO, CULTIVO EN MAR

26 Kg/m <sup>2</sup> en 5 meses	Método indirecto, mata-piedras	Barrales y Pizarro, 1984
12,5 Kg/m <sup>2</sup>	Método indirecto, mangas polietileno	Pizarro, 1986
5 kg/m <sup>2</sup>	Método siembra directa	Corfo, 1989
16 Kg/línea en 3 meses	Método indirecto, cultivo suspendido de fondo	Ávila et al., 1999
90 Kg m <sup>2</sup> en 1 año	Método mediante esporas	J. Abaroa, com. pers.

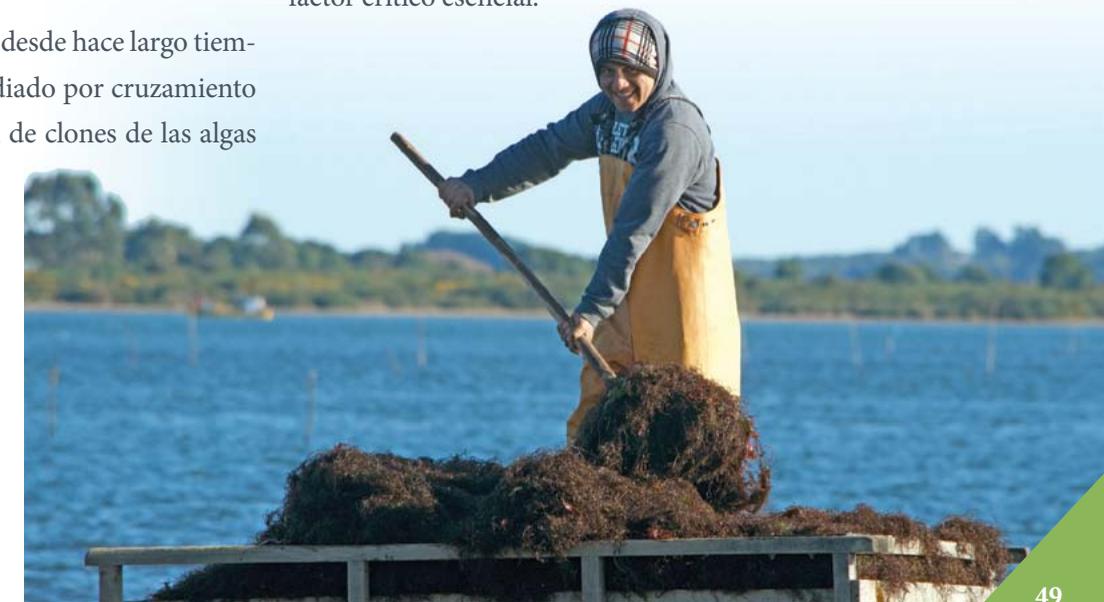
### FACTORES CRÍTICOS DEL CULTIVO

En el método de siembra directo e indirecto es importante mantener las macroalgas jóvenes y controlar la presencia de epífitos (por ejemplo, *Rhizoclonium* spp. *Polysiphonia* spp, *Ceramium* spp) que son una amenaza a la producción. Además, es necesario conocer muy bien la dinámica del sustrato del lugar escogido; en ocasiones se producen embancamientos con la consecuente pérdida del alga y la inversión por compra de semilla.

El cultivo vegetativo que se practica desde hace largo tiempo con esta especie (cultivo no mediado por cruzamiento sexual), es análogo a la producción de clones de las algas madre. Esto lleva a la selección involuntaria de variedades que, por falta de cruzamiento, pierden atributos de sobrevivencia por bajo intercambio genético. Se ha demostrado que esta situación puede empobrecer la capacidad para enfren-

tar cambios climáticos o enfermedades, lo que puede tener consecuencias tanto en la persistencia de la especie, como en la productividad futura de esta técnica de cultivo.

Respecto al cultivo suspendido mediante esporas, la empresa Algas Marinas es la única que provee de plántulas aptas para ser cultivadas; por lo tanto, si este método se hace masivo, la capacidad productiva del Hatchery es un factor crítico esencial.





## CHASCA

Phylum: Rhodophyta

Orden: Gelidiales

Familia: Gelidiaceae

Especie: *Gelidium rex*

*Gelidium chilense*

*Gelidium lingulatum*

En Chile, *G. chilense*, *G. lingulatum* y *G. rex* son especies económicamente importantes. *G. lingulatum* se extiende desde el centro al sur de Chile (33 a 41°S), mientras que las otras dos especies se distribuyen desde Chile central hasta el centro del Perú (35 a 14°S). Las tres especies de *Gelidium* se distribuyen en cinturones en el intermareal bajo, a lo largo de costas rocosas más expuestas al oleaje. En la costa rocosa expuesta de Chile central, existen dos especies de *Gelidium* cohabitando la misma área intermareal (*G. lingulatum* y *G. chilense*), sin evidencia de zonación o segregación espacial. *G. rex* se ubica en el intermareal bajo hasta el submareal alto formando algunas veces cinturones, frecuentemente bajo la sombra de *Lessonia*.



La intensidad de luz, la temperatura, el movimiento de agua y la competencia interespecífica han probado ser importantes en regular la distribución y abundancia (tanto desde praderas naturales como desde cultivo). Los pocos estudios ecológicos desarrollados en *Gelidium*, han mostrado que los rangos de tolerancia van desde 10°C a 25°C. Las tasas de crecimiento son máximas a 20°C para *G. chilense* y a 15°C para *G. lingulatum* y *G. rex*.

*G. lingulatum* muestra un aumento estacional de biomasa en verano, mientras que *G. chilense* presenta variaciones

estacionales. En parches donde ambas especies se mezclan, la biomasa de *G. chilense* presenta menor crecimiento que *G. lingulatum*. Por lo tanto, la cosecha de una de estas especies, puede dar a la otra una ventaja competitiva y estimular su crecimiento.

Esta alga se usa como materia prima para la extracción de agar de alta calidad para la industria alimenticia y en biotecnológica. Los precios promedios se encuentran alrededor de \$1.800 /Kilo húmedo.





## ¿CÓMO CULTIVO CHASCA?

### Etapa Laboratorio y Hatchery

El cultivo de este grupo de especies en Chile es considerado de carácter experimental. En Laboratorio se han definido las condiciones óptimas de crecimiento a partir de esporas para *G. rex*. Sin embargo, la obtención de esporas en forma masiva no ha sido posible.

Una revisión internacional respecto de los avances del cultivo de Gelidiales indican que, a pesar de haber intentado el desarrollo de tecnologías de cultivo, todavía no se desarrolla una metodología exitosa.

Se han probado dos técnicas de cultivo; mediante esporas y mediante fijación de trozos vegetativos a un sustrato calcáreo (valvas).

En la primera técnica se recoge material reproductivo a partir de praderas naturales y se trasladan al laboratorio (en condiciones húmedas y de baja temperatura) para seleccionar los talos y comenzar con la esporulación. La esporulación se gatilla mediante un tratamiento de shock térmico (16°C en oscuridad durante 24 horas). Posteriormente las algas tratadas son depositadas dentro de mallas y ubicadas flotando en estanques de 0.5 m<sup>3</sup>, en el fondo del estanque se colocan sustrato calcáreo; la idea es que el sustrato reciba una lluvia de esporas desde una altura de 30 cm. La inoculación del sustrato se realiza durante 48 horas. Posteriormente las algas son retiradas y el sustrato inoculado es montado en un sistema de suspensión donde el sustrato es separado mediante pequeños trozos de PVC y colgado de forma vertical dentro de los estanques en hatchery, las condiciones de cultivo son 14±2°C y medio de cultivo Provasoli.

La segunda técnica consiste en seleccionar frondas a partir del material recolectado desde praderas naturales y adosarlas a un sustrato calcáreo mediante una

Control y mantención de sistema de cultivo de algas realizado por buzo

malla de plástico. Al igual que en el caso anterior se monta un sistema de suspensión donde se cuelgan las valvas en estanques con las mismas condiciones anteriores más aireación y circulación de agua de mar.

### Etapa de Mar

El sistema montado en Hatchery con el sustrato inoculado mediante esporas es trasladado al mar colocándolo en un sistema de cultivo suspendido a una profundidad de 3 metros durante 150 días. A los dos meses, las plantas alcanzan una talla de 4,15 cm.

El segundo sistema (algas adosadas a material calcáreo mediante malla plástica) se trasladan al mar a los 80 días después de iniciado el cultivo. A los tres meses y medio, se obtienen plantas de 6,1 cm.

## FACTORES CRÍTICOS DEL CULTIVO

A pesar que se ha propuesto el cultivo en estanques como una opción para *Gelidium* spp, no se ha obtenido una abundante producción de esporas ni tampoco una alta tasa de crecimiento en laboratorio, situación que lo hace poco rentable.

Otra dificultad para el cultivo vegetativo de *Gelidium* (mediante fragmentación) es la necesidad de una gran cantidad de plántulas que deben obtenerse a partir de praderas naturales.



PRODUCCIONES DE CHASCA, CULTIVO EN MAR

6,1 cm en 3,5 meses

Rojas et al., 1996



## Ahnfeltia

Phylum: Rhodophyta

Orden: Ahnfeltiales

Familia: Ahnfeltiaceae

Especie: *Ahnfeltia plicata*

*Ahnfeltia plicata* es una especie de alga roja que se ha propuesto como un recurso con alto potencial de comercialización debido a que posee agarosa neutra baja en sulfatos de gran calidad. Según los estudios realizados en especies del hemisferio norte, esta especie presenta un ciclo de vida Haplodiplóntico Trifásico Heteromórfico. Su crecimiento es ramificado, con filamentos de aproximada-



mente 1 mm de diámetro que puede llegar hasta los 35 cm de longitud. Los filamentos nacen de un disco basal de fijación pequeño. En nuestro país, se distribuye en Islas Subantárticas y las regiones patagónicas (Magallanes y Tierra del Fuego), habitando sustratos rocosos y arenosos desde el intermareal hasta los 20 metros de profundidad, tanto en lugares expuestos como protegidos.

La biomasa reproductiva se observa en primavera. Presenta rangos de tolerancia a temperaturas entre los 3°C en invierno hasta los 10°C en verano. El rango máximo de salinidad de esta especie es hasta 40 PSU. La mayor

parte de los estudios fisiológicos realizados para esta especie se concentran en el hemisferio norte, y se han caracterizado por tener un lento crecimiento.

Esta alga es utilizada principalmente en el mercado de los ficoloides y ha sido considerada con un alto potencial comercial por su alta calidad de agarosa que posee propiedades anticoagulantes y antioxidantes, la cual está desprovista de sulfatación y sus aplicaciones tienen un potencial biotecnológico.

No se reporta información de precios en playa.



## ¿CÓMO CULTIVO *Ahnfeltia*?

En el hemisferio sur se ha evaluado el cultivo de Laboratorio y Hatchery utilizando diferentes tipos de fotoperiodo, uso de fertilizantes y reguladores de crecimiento como hormonas para micropropagación. Los resultados han sido favorables pero insuficientes para desarrollar técnicas de cultivo mediante micropropagación masiva principalmente por la baja tasa de crecimiento obtenida.

### Etapa Laboratorio y Hatchery

Para iniciar el cultivo se recolectan frondas desde praderas naturales las que son procesadas para eliminar epibiontes; luego se cortan pequeños trozos los que se disponen en un sonicador (tratamiento de limpieza) el que permite eliminar epífitos adheridos a los talos. Posteriormente son enjuagados en una solución que permite eliminar la presencia de microorganismos. Los talos son puestos en antibióticos por 48 horas, con un fotoperiodo de 16:8 (luz: oscuridad) a una temperatura de 10°C. Cabe señalar que las experiencias de propagación en laboratorio utilizan medios mejorados para su crecimiento y las concentraciones de mantenimiento difieren dependiendo del medio utilizado. Las experiencias de cultivo muestran crecimiento apical y también ramificaciones laterales de los talos. El rango de temperatura probado en laboratorio

varía entre 5 a 23°C con un óptimo de 15°C. A temperaturas extremas se observan las menores tasas de crecimiento.

Las tasas de crecimiento diario en general son bajas, se han reportado valores de 0.04 % día y en el mejor de los casos 0.1% diario en 151 días de cultivo en Hatchery.



### Etapa Mar

El crecimiento vegetativo de cultivo en mar inició con 1.2 g/individuo y finalizó con una biomasa promedio de 2.2 g/individuo después de 9 meses de cultivo en long line. Esto representa un crecimiento total por talo de 0.9 g en 9 meses. La mayor tasa de crecimiento diario fue de 0.52% en diciembre. La sobrevivencia fue de 100%. Al séptimo mes de cultivo el 56% de los talos presentaron estructuras reproductivas.

#### PRODUCCIONES DE *Ahnfeltia*, CULTIVO EN MAR

0,9 g/talo en 9 meses      Ojeda et al., 2016

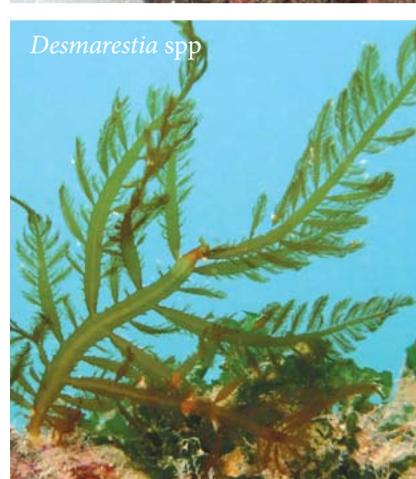
## FACTORES CRÍTICOS DEL CULTIVO

Esta especie aún se encuentra en fase experimental. En Hatchery la temperatura, salinidad y luminosidad son los factores claves a considerar. A la fecha, solamente se ha probado cultivo vegetativo, el cual presenta un lento crecimiento de biomasa en el tiempo, pero con baja mortalidad.

En los meses de primavera se produce un crecimiento explosivo de epífitos del género *Ectocarpus*, tanto en los talos como en el sistema de cultivo, ante esta situación es importante realizar acciones de manejo (limpieza de talos e infraestructura).

## EPIFITOS Y EPIBIONTES ENCONTRADOS EN EXPERIENCIAS DE CULTIVO

El epifitismo puede convertirse en el peor enemigo de los cultivos. Para tener un cultivo exitoso, la mantención de líneas y boyas es fundamental



## CARRAGENÓFITAS





## LUGA ROJA

Otro nombre: Cuero de chancho

Phylum: Rhodophyta

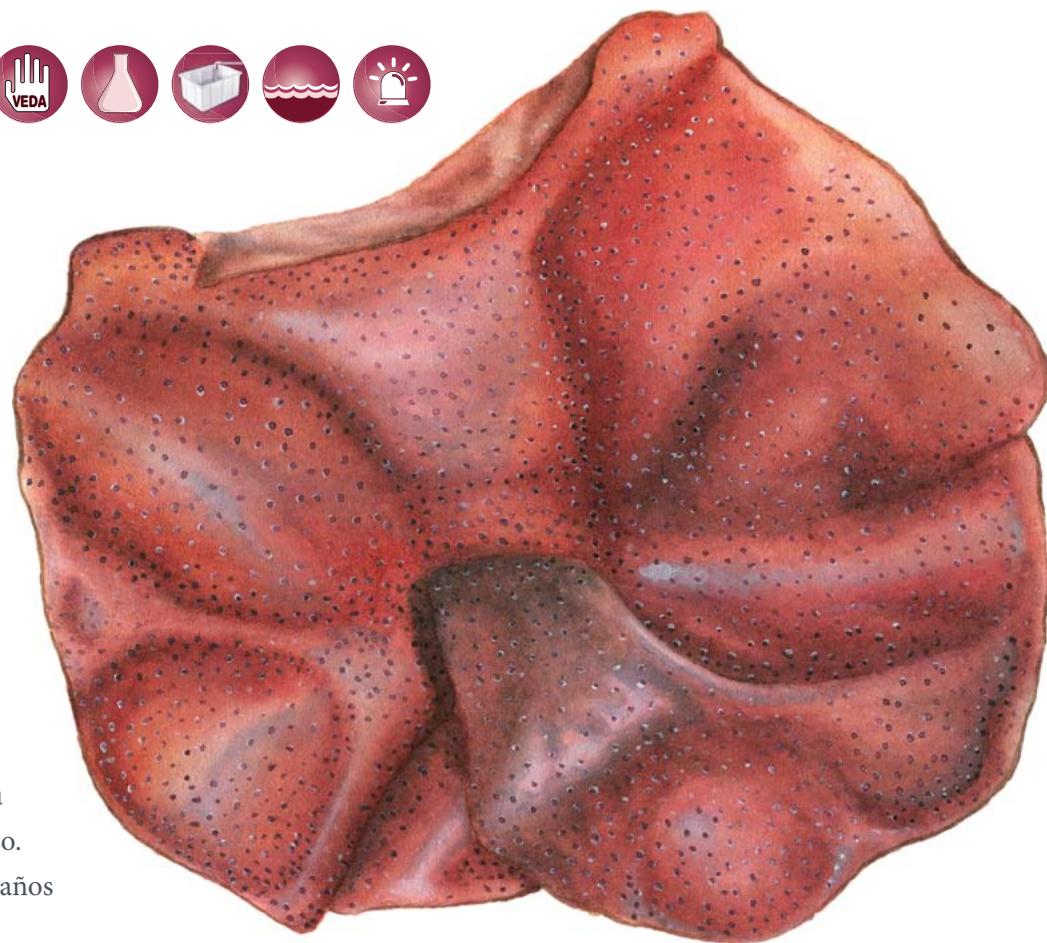
Orden: Gigartinales

Familia: Gigartinaceae

Especie: *Gigartina skottsbergii*



Alga roja de gran tamaño presente en las costas del sur de Chile, desde la región de Los Ríos hasta Cabo de Hornos. Habita en sustratos rocosos y crece entre los 5 m hasta los 20 m aproximadamente. Generalmente está asociada a bosques de “huiros” pero también se observan praderas independientes. Es una especie de aguas templadas-frías, su rango de tolerancia a la temperatura alcanza hasta los 14°C como máximo y 4°C como mínimo. Se observa en lugares expuestos, fiordos y praderas submareales de la zona sur. Se fija al sustrato gracias a un disco de fijación pequeño en comparación a la envergadura que puede alcanzar la fronda completa (sobre 1,5 m en algunos casos). Su ciclo de vida es Haplodiplóntico Trifásico Isomórfico. Su ciclo de crecimiento es de aproximadamente dos años



hasta obtener individuos aptos para la cosecha, lo que genera algunos inconvenientes para el acuicultor que busca obtener cosechas en el menor tiempo posible.

Esta macroalga es importante porque a partir de ella se obtienen carragenanos que son utilizados por diversas industrias, principalmente la alimenticia. Los precios son variables, pero se encuentran alrededor de los \$700 el kilo de alga fresca y \$2600 el kilo para el alga semi seca/

seca. El cultivo de luga roja se ha probado tanto en fase experimental como piloto en el mar, obteniendo resultados a largo plazo, debido a su prolongado periodo de crecimiento en el ambiente natural. Para el cultivo de esta especie es necesario habilitar un hatchery que cuente con todas las características básicas para producir semillas si se desea realizar el cultivo desde esporas.



## ¿CÓMO CULTIVO LUGA ROJA?

### Etapa Laboratorio y Hatchery

#### Obtención de material reproductivo y solución de esporas

Para empezar con el cultivo se deben coleccionar frondas reproductivas, las cuales pueden ser cistocárpicas o tetraspóricas. Si se utilizan frondas con cistocarpos maduros para obtener esporas, ellas al germinar generarán frondas tetraspóricas, que producen carragenina tipo Kappa. Por el contrario, si se utilizan frondas tetraspóricas maduras para obtener esporas, ellas originarán gametofitos masculinos y femeninos que producen carragenina del tipo Lambda. Las frondas se trasladan al hatchery en contenedores térmicos en condiciones de humedad y baja temperatura, donde se separan por fases, se lavan con agua de mar filtrada y se deshidratan con papel absorbente. Cuando se observan secas y aparecen algunas manchas de color marrón en el papel, las frondas deben volver a hidratarse en baldes con agua de mar filtrada, momento en el cual liberan las esporas. Esta solución se vierte en estanques previamente preparados con bastidores, que son estructuras de PVC donde se enrollan entre 60 a 70 m de cuerda de 2 mm de diámetro. Estos estanques se deben mantener aproximadamente por 15 días sin recambio de agua, para que las esporas puedan fijarse al sustrato y comenzar su desarrollo. Transcurridos 3 a 5 meses, se observan pequeñas plántulas adheridas a la cuerda. Durante este periodo se utiliza fertilizante foliar para suplir las necesidades nutricionales. Posteriormente las cuerdas con las plántulas adheridas son transportadas en condiciones de humedad y baja temperatura para el cultivo en el mar.



Fronda reproductiva Luga roja. Los cistocarpos se observan como protuberancias oscuras



Cultivo suspendido luga roja, Chiloé

### Etapa Mar

Las cuerdas con plántulas obtenidas en hatchery se trasladan al sistema de cultivo suspendido para comenzar su crecimiento. Por lo general, se instalan de forma vertical a la línea madre utilizando una “potala” o peso para mantener su posición. Es recomendable instalar las cuerdas en los meses de agosto o septiembre para permitir el desarrollo óptimo en los meses de primavera y verano. Las líneas se deben revisar y limpiar periódicamente para evitar la aparición de epibiontes (fouling) que puedan interferir con el cultivo. La cosecha se realiza después de dos años.

El cultivo en mar se ha diversificado con la introducción de cultivos de propagación por fragmentación, actualmente en etapa piloto. Este cultivo no requiere una fase de hatchery, sin embargo, se requiere de frondas desde praderas naturales. El sistema de cultivo consiste en utilizar trozos de frondas vegetativas y reproductivas para elaborar “reinales” (los reinales se instalan de forma vertical sobre el long line) con hasta un kilo de trozos de frondas. Luego de 5 a 6 meses se puede doblar la biomasa inicial.

### FACTORES CRÍTICOS DEL CULTIVO

El crecimiento es lento, aproximadamente dos años hasta obtener individuos aptos para la cosecha.

- Existen pocos hatcheries autorizados que puedan producir cuerdas con plántulas adheridas a partir de esporas. La mantención y limpieza de las líneas de cultivo es fundamental.
- Existe evidencia de que la alta mortalidad durante el desarrollo temprano del cultivo de esporas (cercano al 95%) puede ser un problema para la inoculación eficiente de líneas para un cultivo comercial relativamente sustentable.
- La propagación vegetativa por fragmentación del talo representa una alternativa que reduce incertidumbres tanto en la densidad de cultivo como del tiempo de crecimiento.

#### PRODUCCIONES DE LUGA ROJA, CULTIVO EN MAR

6 ton. en 3 años

150-180 g m<sup>-1</sup> en 10 meses

0 -1 m de profundidad

Cultivo de fondo (Fragmentación)

Ávila y Romo, 2001

Westermeier et al., 2012



## LUGA NEGRA

Otro nombre: Lama

Phylum: Rhodophyta

Orden: Gigartinales

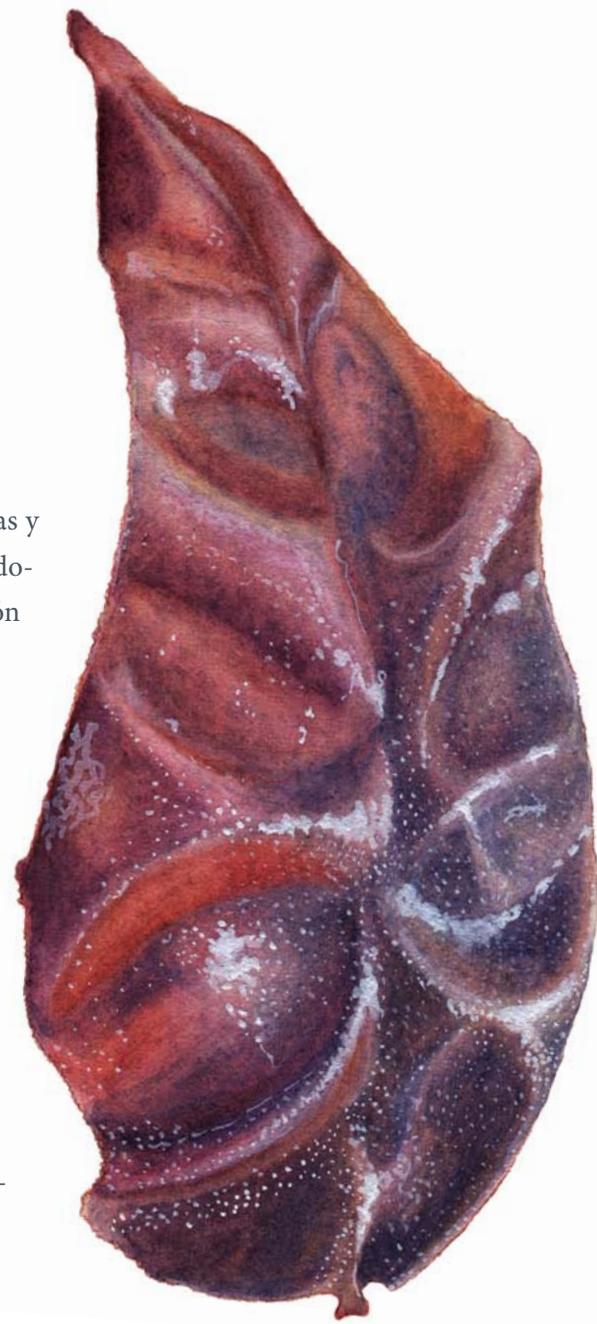
Familia: Gigartinaceae

Especie: *Sarcothalia crispata*



El talo es folioso con una o más frondas ovas, las cuales son más largas que anchas y pueden alcanzar longitudes de sobre 1 m. Las frondas son de color rojo púrpura, pardo-rojizo o verdoso y están adheridas al sustrato a través de un disco basal. La porción basal de las láminas generalmente presenta pequeñas proliferaciones en el margen que se asemejan a cilios o papilas. Con frecuencia, estos cilios se observan también en los márgenes de la lámina.

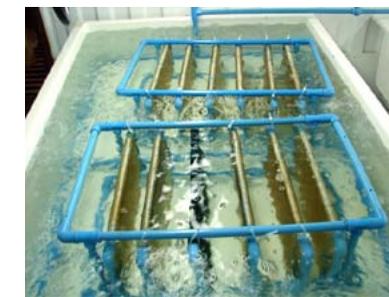
*S. crispata* es endémica de las costas de Chile, con una distribución antiboreal desde Valparaíso (33° 02' S) hasta el Estrecho de Magallanes (Punta Santa María) (54°28' S), su distribución vertical se extiende por sobre los 10 m de profundidad. Crece a temperaturas que fluctúan entre 9 a 15°C. Las praderas de *S. crispata* forman cinturones entre 2 a 5 m de ancho, lo cual depende de la superficie disponible dentro del rango de profundidad en el que habita esta especie. La extensión de este cinturón puede rodear islas pequeñas y zonas costeras amplias (mayores a 25 km zona costera continental, mar interior de Chiloé), lo cual depende de las condiciones ambientales prevalentes (por ejemplo: sustrato disponible, salinidad, entre otros).



Obtención de solución de esporas



Siembra de bastidores



Crecimiento en Hatchery

Se utiliza como materia prima para la extracción de carragenina. Los precios son variables, los promedios se encuentran en \$530 el kilo el alga fresca y \$660 el kilo semi seca / seca.

### ¿CÓMO CULTIVO LUGA NEGRA?

#### Etapa Laboratorio y Hatchery

En general el cultivo de luga negra es similar al de Luga roja.

Etapa Laboratorio y Hatchery

- 1.- Se recolectan frondas reproductivas.
- 2.- Se separan las frondas por fases.
- 3.- Se deshidratan e hidratan.
- 4.- Se obtienen las esporas
- 5.- Se siembran las esporas sobre los bastidores que se encuentran en los estanques en el hatchery.

A través de experiencias realizadas se estima que el crecimiento puede obtenerse en alrededor de 6 meses. Los requerimientos nutricionales de los primeros estados de vida de *S. crispata* en laboratorio se suplen con medio de cultivo Provasoli. En tanto, en hatchery se ha utilizado fertilizante foliar agrícola para disminuir los costos de producción masiva. También se puede utilizar nutrientes en la forma de nitrato de amonio y solución de urea para mejorar el crecimiento de esporas (tetrásporas).

## Etapa Mar

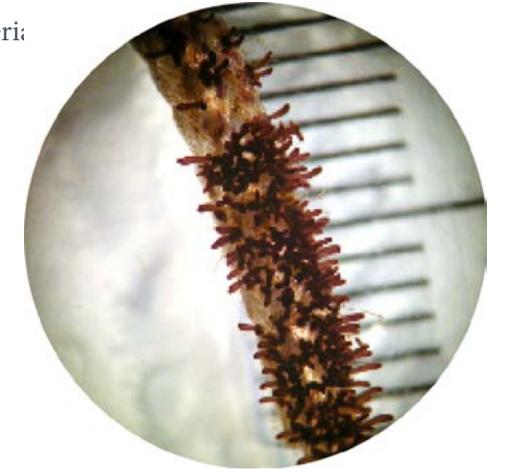
Al igual que en *Gigartina* las cuerdas con plántulas obtenidas en hatchery (bastidores) se instalan en el sistema de cultivo suspendido de manera vertical, utilizando potalas. Se ha probado el crecimiento a diferentes profundidades. A 2 m de profundidad se pueden alcanzar tallas cosechables mayores de 10 cm luego de 3 meses de cultivo. A 3.5 m de profundidad se alcanzaron tallas entre 7 cm a 15 cm luego de 6 meses de cultivo, considerando 1 mes de cultivo en hatchery.

Sistema de cultivo vertical; las cuerdas con plántulas adheridas son colgadas desde la línea madre y estabilizadas en su extremo inferior con potalas (bolón envuelto en malla)

## FACTORES CRÍTICOS DE CULTIVO

Para obtener una óptima producción es primordial la calidad del material reproductivo, de esta manera, se obtiene una buena esporulación lo que permite obtener altas densidades de plántulas. También es importante la calidad del agua que se ocupa en Hatchery, es importante mantener un buen sistema de filtración y esterilización para el desarrollo y mantención de las esporas y plántulas.

Al igual que con luga roja existen pocos hatcheries que puedan producir cuerdas con plántulas adheridas, situación que puede afectar la posibilidad de emprendimiento.



Un buen material reproductivo, se refleja en la densidad de plántulas



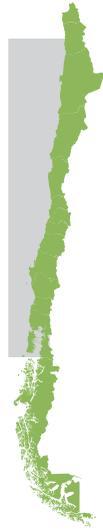
### PRODUCCIONES DE LUGA NEGRA, CULTIVO EN MAR

1,5 Kg m<sup>-1</sup> en 9 meses

3,5 m profundidad

Romo et al., 2001

Uno de los factores que pueden afectar al crecimiento de *S. crispata* en las regiones más australes del país es la radiación UVB. Se ha observado que la exposición de plantas de *S. crispata* (así como *G. skottsbergii*) a altos niveles de radiación UVB en altas latitudes (Región de Magallanes) provocan un crecimiento lento.



## CHICOREA DE MAR

Phylum: Rhodophyta

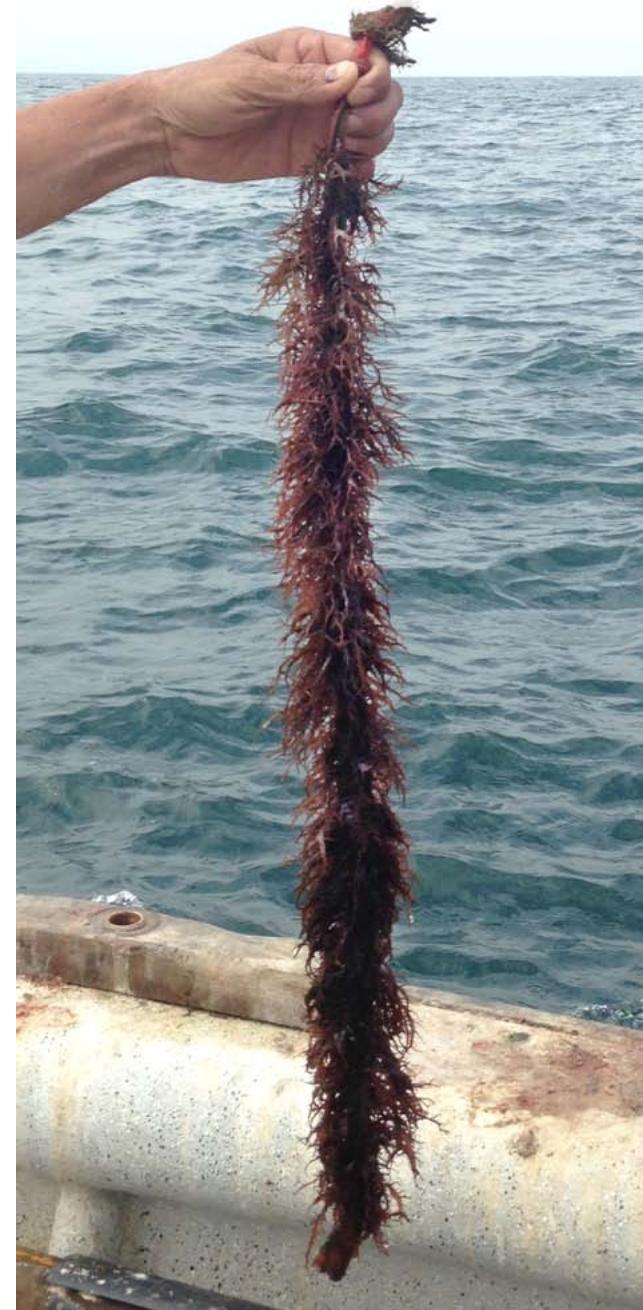
Orden: Gigartinales

Familia: Gigartinaceae

Especie: *Chondracanthus chamissoi*

*Chondracanthus chamissoi* es un alga roja usada para la extracción de carragenanos. Sin embargo, en los últimos años se ha exportado como alga para consumo humano en el mercado asiático, ya que es rico en vitaminas y proteínas vegetales. Esta situación ha favorecido las iniciativas de cultivo y manejo. Esta alga puede alcanzar hasta 50 cm de longitud y tiene un ciclo de vida trifásico con alternancia de generaciones isomórficas (de igual apariencia). Las plantas cistocárpicas y tetraspóricas pueden producir “semillas” las cuales al crecer originan nuevas plantas. Por otro lado, la costra basal o disco adhesivo es perenne, es decir, si no se remueve del sustrato puede formar nuevas plantas, lo que constituye otra forma de reproducción, conocida como reproducción vegetativa.

Habita las costas de Perú y Chile además de Corea, Japón y Francia. En Chile, la especie ha sido encontrada entre Iquique y Chiloé. Habita en el intermareal y hasta los 15 m de profundidad, principalmente en lugares protegidos. En el submareal, esta alga crece sobre rocas o bolones que pueden ser cubiertos estacionalmente por arena. Los precios que se registran para el alga fresca fluctúan entre \$350 y \$700 /Kilo.



### ¿CÓMO CULTIVO CHICOREA DE MAR?

Al igual que para las otras macroalgas el cultivo se inicia en laboratorio, donde se realizan las actividades de esporulación; en hatchery, se inoculan los sustratos artificiales o bien se preparan (selección y limpieza) las frondas para ser encordadas. Finalmente son trasladados al mar e instalados sobre long lines donde las plántulas crecen hasta el periodo de cosecha.

Se han desarrollado diferentes métodos para el cultivo de Chicorea de mar; entre los que se encuentran la reproducción sexual por esporas o esporocultivo, la propagación vegetativa y la fijación de discos secundarios (FDS).

El esporocultivo consiste en que a partir de macroalgas fértiles (cistocárpicas o tetraspóricas), extraídas desde praderas naturales, se obtienen esporas para sembrarlas sobre sustratos artificiales. Luego de un tiempo de incubación se obtienen plantas de pequeño tamaño (1-2 mm de altura) que pueden ser trasladadas al mar para su crecimiento.

El método de propagación vegetativa consiste en utilizar trozos de frondas infértiles y reproductivas, las cuales son entrelazadas en cuerdas de polipropileno y mantenidas en sistemas de cultivo a diferentes profundidades.

El método de fijación de discos secundarios o de re-adhesión de fragmentos de Chicorea es un mecanismo importante para la regeneración de biomasa, para la mantención de poblaciones naturales y el desarrollo de cultivos. En resumen, mediante 8 pasos se puede realizar el cultivo de Chicorea utilizando este método: 1) Obtención de Chicorea desde el medio natural y selección de plántulas 2) Limpieza de macroalgas, 3) Mantención de macroalgas en estanques, 4) Corte de las macroalgas (fragmentación), 5) Mantención en hatchery, 6) Fijación de macroalgas sobre sustrato artificial, 7) Siembra en sistema suspendido (línea de cultivo tipo long-line), 8) Monitoreo, mantención y cosecha.

### PRODUCCIONES DE CHICOREA, CULTIVO EN MAR

3000 g m <sup>-1</sup> en 3 meses	Cultivo Vegetativo	IFOP
2300 g m <sup>-1</sup> en 3-5 meses	Cultivo Vegetativo	ACUASESORIAS
93 g m <sup>-1</sup> en 2 meses	Cultivo Vegetativo	UCN
115 g m <sup>-1</sup> en 1 mes	Cultivo Vegetativo	UCN
160 g m <sup>-1</sup> en 2 meses	Cultivo Vegetativo	UCN
44 g m <sup>-1</sup> en 1 mes	Cultivo Vegetativo	UCN
217 g m <sup>-1</sup> en 4 meses	Cultivo Vegetativo	UCN
300 g m <sup>-1</sup> en 2 meses	Cultivo Esporas	UNAP
435 g m <sup>-1</sup> en 3 meses	Cultivo Vegetativo	IFOP
103,5 g m <sup>-1</sup> en 3 meses	Cultivo Vegetativo	IFOP

Los niveles de producción dependen del tipo de cultivo (vegetativo o por esporas), método de cultivo (vertical u horizontal), profundidad de cultivo, tiempo de permanencia del cultivo, época del año y zona geográfica que se realice. Las producciones publicadas van entre 44 g m<sup>-1</sup> y 3000 g m<sup>-1</sup>, durante uno hasta cinco meses de cultivo.

Sistema de cultivo horizontal, las cuerdas con plántulas son adheridas sobre la línea madre.



Encordado de Chicorea de mar

### FACTORES CRÍTICOS DEL CULTIVO

En etapa de laboratorio y hatchery, proyectando la masificación del cultivo, el punto crítico es la capacidad productiva instalada. Existen pocos Hatcheries autorizadas que se dediquen al abastecimiento de cuerdas con semillas.

De acuerdo a las experiencias de cultivo desarrolladas en agua de mar los factores críticos a considerar son: profundidad en que se realiza el cultivo, periodos de ingreso al mar (debe realizarse preferentemente en otoño-invierno) y la mantención de las líneas y sistemas de cultivo. Estos factores son predominantes al momento de determinar cuántas cosechas se pueden realizar en un sitio de cultivo, pues durante primavera-verano los cultivos son afectados por eventos de epifitismo que hacen que la biomasa cosechable sea menor.





## LUGA CUCHARA

Phylum: Rhodophyta

Orden: Gigartinales

Familia: Gigartinaceae

Especie: *Mazzaella laminarioides*



La importancia económica de esta alga ha aumentado en los últimos años, ya que también es una de las materias primas para la obtención de carragenanos utilizados en procesos industriales. Al igual que la mayoría de las macroalgas carragenófitas, presenta un ciclo de vida Trifásico Isomórfico donde se observa una fase gametofítica (ambos sexos y reproducción sexual), una fase carposporofítica y una fase tetrasporofítica. Durante la fase de reclutamiento son capaces de presentar coalescencia con otros organismos de la misma especie lo que les permite alcanzar mayor tamaño para poder sobrevivir. Generalmente se encuentra en cordones o parches, tanto en roqueríos protegidos como expuestos del intermareal medio bajo. Se distribuye desde Tie-



rra del Fuego hasta la zona central del país. La biomasa de esta alga en las zonas altas del intermareal presenta una mayor proporción de frondas cistocárpicas (casi 100%), situación que disminuye hacia los estratos más bajos del intermareal. Se adosa a los roqueríos y es capaz de resistir fuertes oleajes y también períodos de desecación durante los cambios de marea.

Se extrae principalmente para la obtención de carragenanos, que es utilizado como agente espesante o gelatinizante en productos lácteos y cosméticos. Los precios se registran sólo para alga fresca, a \$770 /Kilo.

### ¿CÓMO CULTIVO LUGA CUCHARA?

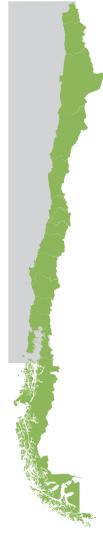
Se han realizado experiencias exitosas de desarrollo de cultivo en laboratorio (producción de esporas), mantención y crecimiento de juveniles en hatchery para acciones de repoblación o restauración de poblaciones naturales.

Se ha implementado una técnica que consiste en la inoculación de esporas en sustrato artificial e incubación de juveniles en hatchery, seguida por su trasplante a roqueríos. Si los sitios elegidos son los apropiados y la siembra de esporas es exitosa, se obtienen individuos juveniles a los 6 u 8 meses, dependiendo la época del año en que se realice la siembra.

No existen reportes de producciones en mar.

### FACTORES CRÍTICOS DEL CULTIVO

El cultivo se encuentra en fase experimental.



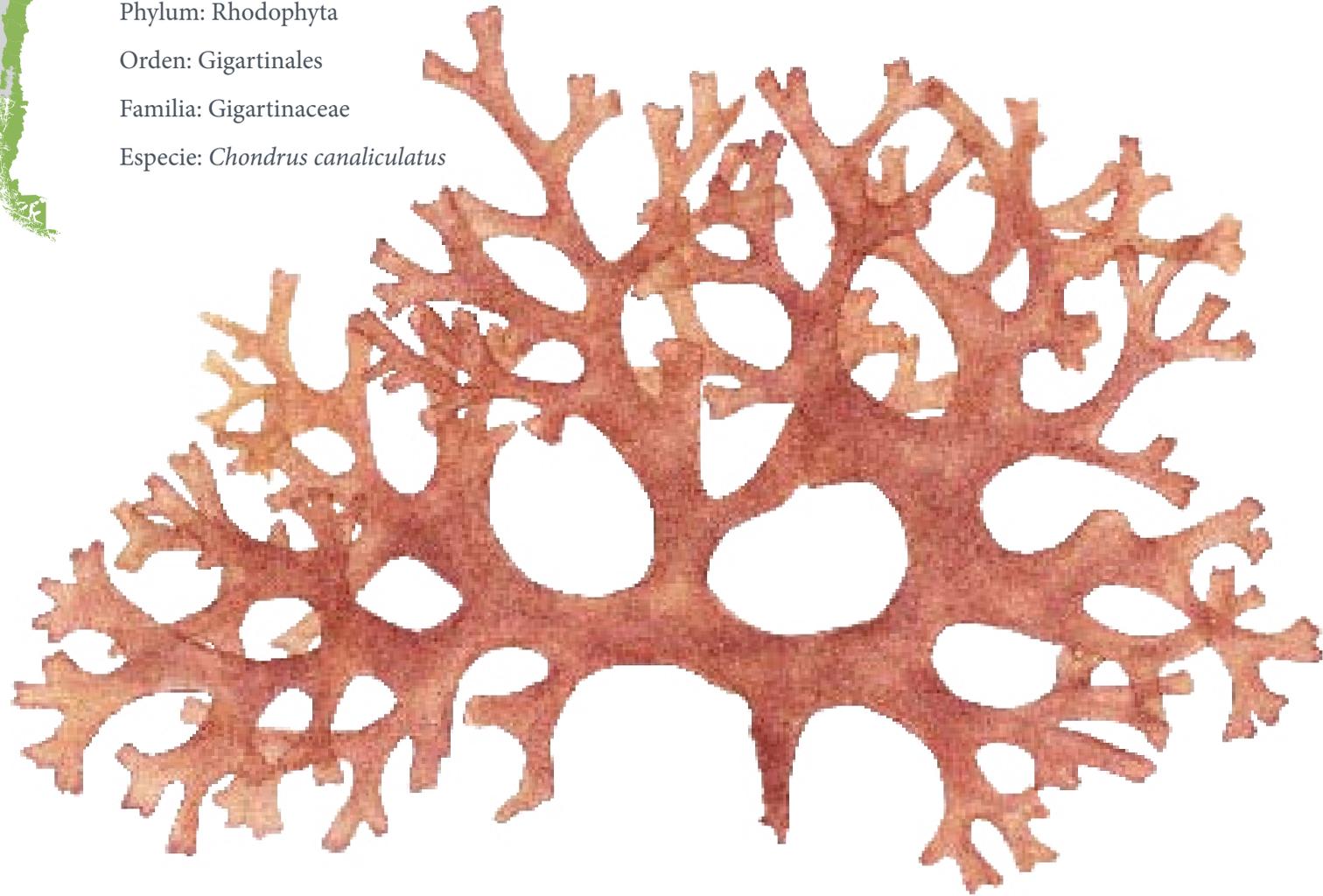
## Chondrus

Phylum: Rhodophyta

Orden: Gigartinales

Familia: Gigartinaceae

Especie: *Chondrus canaliculatus*



Alga de tamaño pequeño, aproximadamente 15 cm de largo en algunos casos, de color rojizo parduzco. Crece de forma ramificada generando filamentos conectados entre sí. Presenta un ciclo de vida Trifásico Isomórfico, con alternancia de fases.

Se distribuye desde Perú al sur. En Chile, está presente hasta la Isla de Chiloé. Se observa en lugares semi expuestos o expuestos al oleaje, en el intermareal medio bajo de

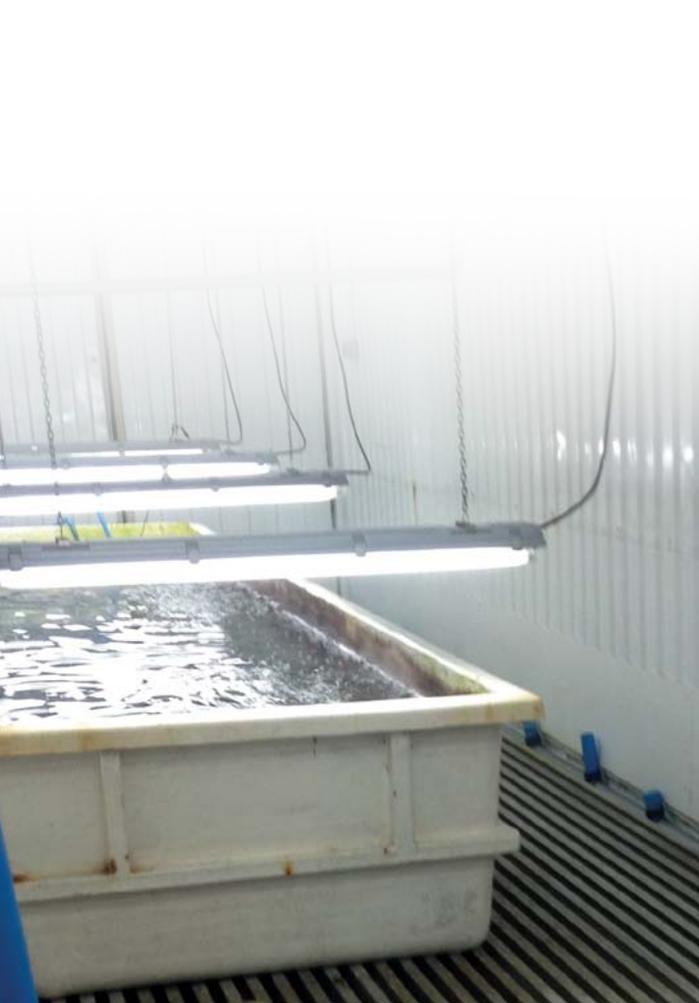
las costas y hasta los 4 metros de profundidad.

Debido a la explotación humana las praderas de esta alga disminuyeron notablemente por la escasa información de su ciclo de vida, lo que ha llevado a prácticas de manejo extractivo inadecuadas.

Esta alga es productora de carragenanos de gran uso en la industria alimenticia.

No existen registros de precios en playa para este recurso.





## ¿CÓMO CULTIVO *Chondrus*?

Las experiencias de cultivo para este género, se concentran principalmente en el hemisferio norte. El cultivo se ha desarrollado principalmente en estanques que permiten el desarrollo continuo. También existen instancias de desarrollo en mar abierto, donde las macroalgas han sido dispuestas en mallas y amarradas a una línea madre en sistemas de cultivo.

En Chile, *C. canaliculatus* ha sido cultivado experimentalmente en estanques demostrando un gran potencial productivo, que va entre los 40 a los 200 g por m<sup>3</sup>. El cultivo comienza con la exposición de las macroalgas extraídas desde praderas naturales a un periodo de cuarentena, donde las plantas son acondicionadas para su posterior desarrollo. Se limpian de epífitos y se mantienen en agua de mar filtrada con medios de cultivo (Provasoli). Una vez aclimatadas las algas son puestas en estanques donde se controlan factores abióticos como temperatura, salinidad y pH que pudieran ocasionar pérdidas de biomasa. La densidad inicial del cultivo varía dependiendo del volumen que presenten los estanques de cultivo. Se han obtenido crecimientos significativos a los 14°C y 20°C.

### FACTORES CRÍTICOS DEL CULTIVO

El cultivo se encuentra en fase experimental.

Es necesario realizar recambio de agua diario a los estanques, o bien considerar un sistema de recirculación. Los factores críticos del cultivo son la temperatura, salinidad y las variaciones del pH.

La mayor productividad se logra en primavera, en verano aumenta el epifitismo.

### PRODUCCIONES DE *Chondrus*, CULTIVO EN HATCHERY

6.5 Kg húmedos m<sup>-3</sup> en 12 meses

Edding et al., 2008

# COMESTIBLES





# LUCHE

Phylum: Rhodophyta

Orden: Bangiales

Familia: Bangiaceae

Especie: *Porphyra-Pyropia* spp



Un estudio reciente de taxonomía molecular efectuado en la costa de Chile revela que al menos 16 especies pertenecerían a los géneros *Porphyra* y *Pyropia*; con excepción de *Pyropia orbicularis* todas las especies descritas en ese estudio serían nuevas para la flora marina chilena. Hasta antes del estudio taxonómico se reconocían para toda la costa de Chile 10 especies dentro del género *Porphyra* y una especie de *Pyropia*.

Estas especies presentan dos fases en su ciclo de vida: una fase macroscópica que puede tener células reproductivas masculinas, femeninas o ambas. Al reproducirse, estas plantas generan un tipo de



esporas denominado cigotoespora, que generará una fase microscópica denominada conchocelis. Esa fase microscópica filamentosa crece dentro de conchas y produce esporas denominadas conchoesporas que generarán nuevas plantas adultas.

Las poblaciones de luce son intermareales, algunas dominan el intermareal superior. Poseen gran resistencia a la desecación cuando baja la marea, llegando a estar prácticamente deshidratadas cuando la radiación solar es alta durante la bajamar. Los mecanismos fisiológicos o bioquímicos que permiten a estas macroalgas resistir la desecación son desconocidos. Por otro lado, el luce resiste bajas salinidades y es tolerante a períodos de congelación, propiedad que también es utilizada en los cultivos para extender el período de crecimiento y cosechas.

Esta alga ha sido destinada tradicionalmente para el consumo humano y ocupa un lugar importante de la cocina tradicional del país.

Los precios en playa durante el año 2018 fluctuaron entre \$1000 y \$1500 /Kilo húmedo.



## ¿CÓMO CULTIVO LUCHE?

El cultivo del lucche se desarrolla en tres etapas: siembra de fase conchocelis, siembra de conchoesporas y crecimiento en el mar.



Estanque con cultivo de fase conchocelis en conchas de ostras



Conchas de ostras colonizadas por conchocelis (coloración burdeo)

### Obtención de tejido reproductivo, solución de esporas y etapa Hatchery

#### Siembra de fase conchocelis

En esta etapa se induce a las frondas maduras a que liberen sus esporas, mediante desecación. Una vez liberadas las esporas, son sembradas sobre valvas de moluscos (preferentemente ostra chilena u ostra japonesa). Las valvas de ostras deben colocarse en el fondo de los estanques, los que idealmente deben tener baja profundidad y privilegiar mayor superficie para disponer más conchas en el fondo. Las conchas que se utilicen deben estar limpias y sin materia orgánica, prefiriendo el uso de conchas más planas. Tratar de sembrar la mayor cantidad de conchas con fase conchocelis. Se han identificado condiciones óptimas (temperatura, salinidad, flujo fotónico y fotoperiodo) tanto para el crecimiento como la maduración de la fase conchocelis en hatchery. Además, en hatchery se requiere la incorporación de nutrientes a los estanques, recambio de agua y limpieza de los estanques para evitar contaminación por diatomeas y algas filamentosas.

### Siembra de conchoesporas sobre redes de cultivo

Una vez que la fase conchocelis ha crecido y madurado, se siembran redes con las esporas generadas por la fase conchocelis (conchoesporas). Las redes que se utilizan para sembrar estas esporas son especiales para el cultivo de lucche (1,8 m ancho × 18 m largo; 30 cm de apertura de malla). La siembra de estas esporas se puede desarrollar en hatchery, utilizando un sistema mecanizado en donde las redes que se sembrarán con conchoesporas son puestas alrededor de un cilindro de metal inoxidable de 2 m de alto y 1,5 m a 2 m de diámetro. Este cilindro tiene un sistema mecanizado que permite que gire lentamente sobre un estanque en el que se disponen las conchas de ostra con fase conchocelis maduras, las cuales liberan esporas que se fijan sobre las redes de cultivo. Existe un método alternativo al hatchery, que consiste en el uso de una malla doble, la cual tiene numerosos “bolsillos” dentro de los que se introducen conchas previamente inoculadas con fase conchocelis producidas en hatchery. Sobre esta malla doble se colocan 10 a 20 redes sobre las que se fijaran las conchoesporas, envolviendo todo en una manga de polietileno. Este paquete se lleva a un sistema suspendido en el mar para que las conchas liberen sus esporas y se fijan sobre las redes dentro de la manga de polietileno. Posteriormente, las redes inoculadas son sacadas de la manga de polietileno y trasladadas a los sitios definitivos de cultivo en el mar.



Redes con conchas de ostras con fase conchocelis



Siembra manual de esporas, generadas por fase conchocelis



Redes con conchas de ostras inoculadas con fase conchocelis y envueltas en manga plástica para fijación de conchoesporas

## Etapa Mar

Una vez que se ha producido la fijación de conchoesporas sobre las redes de cultivo, las redes son trasladadas a sitios definitivos de crecimiento en el mar. Una alternativa consiste en poner las redes en sistemas de cultivo fijo que se disponen en el intermareal. Las redes se colocan orientadas perpendicularmente a la línea de costa, ocupando la franja de distribución que normalmente ocuparía el luche en condiciones naturales, y son amarradas a estacas a una altura que permita que experimenten los períodos de desecación e inmersión propios de un ciclo mareal, evitando así la presencia de fouling. Un sistema muy parecido, denominado semiflotante, consiste en colocar las redes con un sistema de argollas y flotadores a las estacas; de esta forma, las redes se mueven con el ciclo de las mareas, pero hasta un tope puesto en las estacas, permitiendo que las redes estén mayor tiempo sumergidas. Un tercer sistema de crecimiento, denominado flotante, requiere del uso de una columna de agua con profundidad mayor a 15 m,

fondo blando (idealmente) y protegido del oleaje y corrientes. En ese tipo de sitios, las redes son dispuestas horizontalmente (mediante flotadores) a la superficie del mar y fijadas con anclas metálicas al fondo. Las redes deben someterse a períodos de desecación diario mediante el uso de sistemas parecidos a caballetes, que produzcan la emersión frecuente (ojalá diaria) de las redes. Una variante de este sistema es el uso de soportes metálicos que incorporan un sistema de contrapeso y flotación, los cuales facilitan el proceso de emersión de las redes. Independiente del sistema que se utilice, es crítico que las redes sean sometidas a períodos de desecación, para evitar el fouling y así privilegiar el crecimiento sólo de luche. Si el manejo es adecuado, las redes pueden estar listas para la primera cosecha en dos meses.

Frondas de luche sobre redes de cultivo

La cosecha puede ser manual o mecanizada, y dentro de una temporada de cosecha una misma red podría ser cultivada hasta 5 veces entre otoño e invierno.

## FACTORES CRÍTICOS DEL CULTIVO

El desarrollo de este cultivo requiere obligadamente una etapa de hatchery para producir la fase conchocelis sobre valvas de moluscos. Las dimensiones y equipamiento del invernadero estarán en directa relación con la cantidad de redes que se desee inocular. Se requiere de técnicos con habilidades específicas para verificar crecimiento y maduración de la fase conchocelis. Para la fase de crecimiento de luche, es crítico someter a períodos de desecación las redes, para evitar el fouling y privilegiar el crecimiento de luche.



Sistema de cultivo suspendido (tipo flotante) de Luche, Lechagua, Chiloé.

## PRODUCCIONES DE LUCHE, CULTIVO EN MAR

94,6 g/m<sup>2</sup> (Producción fase gametofito en redes)

1 m profundidad

Candia et al., 2006





## CAROLA

Phylum: Rhodophyta

Orden: Gigartinales

Familia: Kallymeniaceae

Especie: *Callophyllis variegata*



Al menos nueve especies de *Callophyllis*, han sido citadas para el Pacífico Templado de Sudamérica (Perú y Chile), ocho de las cuales estarían presentes en el litoral de Chile.

Estudios recientes, realizados en la costa centro-sur de Chile, entre los 33° y 41°S, encontraron una diversidad de morfos que constituirían al menos tres entidades diferentes: *C. variegata* la especie tipo del género, *C. concepcionensis* y *C. macrostiolata* descritas como nuevas especies.

En la costa de la Región de Los Lagos, el género está representado por estas tres especies: *C. variegata*, de color rojo intenso, consistencia membranosa y tamaño variable (30 o 40 cm de alto). Ramificación repetidamente dicotómica a irregularmente dicotó-



mica, dando a la fronda un aspecto flavelado (en forma de abanico). Esta especie presenta una distribución subantártica, distribuyéndose a lo largo de toda la costa de Chile y alcanzando su límite norte de distribución en la costa del Perú central (14°). Crecen adheridas a las rocas a menudo en playas de arena gruesa, en hábitats semiexpuestos o protegidos, entre 0 -15 m de profundidad. *C. concepcionensis*, de color rojo, mayor grosor y consistencia que *C. variegata* y *C. macrostiolata*; puede medir hasta 35 cm de alto. Se encuentra distribuida entre Concepción y Chiloé. *C. macrostiolata* es de color rojo, consistencia firme y cartilaginosa y tamaño variable (12 a 35 cm) y con la misma distribución geográfica que *C. concepcionensis*.

Las praderas de *Callophyllis* son típicamente submareales, se encuentran hasta los 17 m de profundidad. En la Región de Los Lagos, las tres especies ocurren juntas siendo más abundante *C. variegata* y están asociadas a otras especies de macroalgas de importancia económica como *S. crispata*, *G. skottsbergii* y *L. trabeculata*. Tienen una distribución en parches, cubriendo extensiones de hasta 4 hectáreas. La productividad de las praderas es variable durante el año, observándose mayor biomasa en los meses de verano.

Los cistocarpos se encuentran maduros a partir del mes de marzo, liberando esporas hasta el mes de septiembre, en tanto, las tetrásporas se encuentran durante los meses de primavera, en especial durante el mes de noviembre, con un 30% del total de las frondas tetráspóricas.

Esta alga está destinada principalmente al consumo humano debido a su alto contenido de vitaminas, minerales, proteínas y carbohidratos.

Los precios en playa han fluctuaron entre \$400 y \$500 /Kilo húmedo.

## ¿CÓMO CULTIVO CAROLA?

La técnica de cultivo (esporocultivo) de esta alga es similar al de las otras macroalgas rojas. Se inicia con la colecta del material reproductivo maduro que es trasladado en un contenedor térmico (cooler) resguardando las condiciones de humedad y baja temperatura. Una vez en el hatchery se seleccionan las frondas separando las fases (cistocárpicas y tetraspóricas), se lavan para eliminar impurezas y epífitos. Posteriormente se deshidratan utilizando papel absorbente durante un periodo no menor a 2 horas. Luego son trasladadas a baldes (20 a 40 litros) donde en el fondo se colocan redes. Se adiciona agua de mar filtrada y esterilizada. Las frondas permanecen por un periodo máximo de 48 horas. Durante este tiempo las esporas son liberadas y fijadas a la red. Las redes con esporas fijadas son trasladadas a estanques de mayor volumen donde se mantienen por 6 meses. Durante este periodo se aplican nutrientes (abono foliar) y se realizan recambios de agua en forma semanal. Una vez que las plántulas son visibles sobre las redes, estas son trasladadas al sistema de cultivo suspendido en el mar. Se han probado cultivos a diferentes profundidades (3.5 m, 4 m y a 20 cm del fondo; esta última ancladas al sustrato natural).



### PRODUCCIONES DE CAROLA, CULTIVO EN MAR

Plantas de 8 cm en 6 meses

3,5 m profundidad

Ávila et al., 2012

## FACTORES CRÍTICOS DEL CULTIVO

Es primordial la calidad del material reproductivo para conseguir una buena esporulación; de acuerdo a la información reportada, se recomienda el uso de material reproductivo en primavera; entre los meses de diciembre a marzo las esporas no son viables.

Al igual que en todas las algas, la calidad del agua de los hatchery es primordial para obtener resultados auspiciosos.

La mantención y limpieza de las líneas de cultivo, sigue siendo de gran relevancia.





# COCHAYUYO

Phylum: Ochrophyta

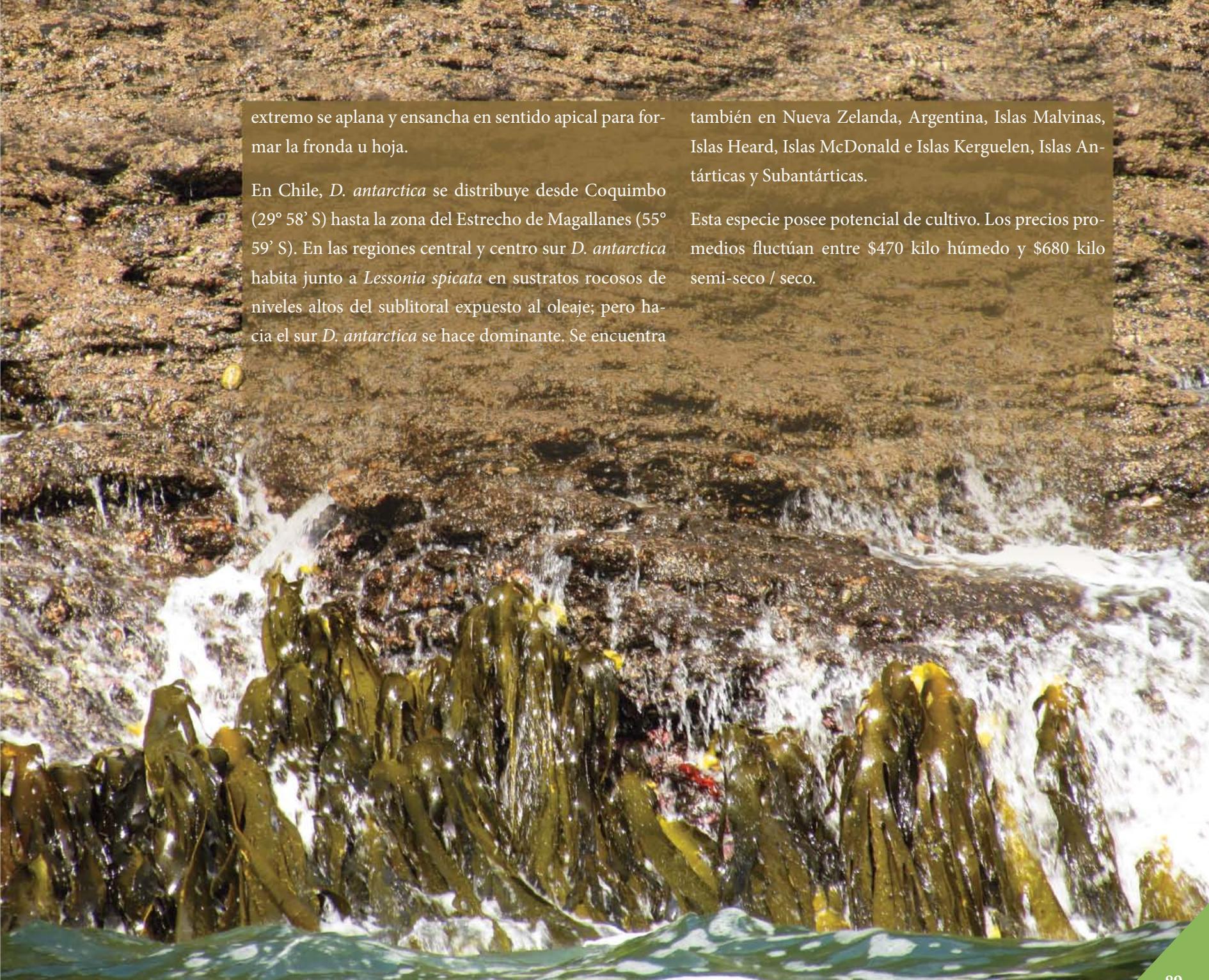
Orden: Fucales

Familia: Durvillaeaceae

Especie: *Durvillaea antarctica*



Su morfología consiste de una lámina de color café oscuro o pardo verdoso, que puede alcanzar 15 m de longitud y 20-30 cm de ancho. La lámina es de apariencia alargada y entera en juveniles, pero se divide dispartemente en plantas adultas. Tiene consistencia carnosa y su interior es una estructura de panal que le da gran resistencia para soportar el embate de las olas, además de la capacidad de flotación. En la base de la lámina se ubica el disco macizo, de forma cónica, que se adhiere al sustrato rocoso. La lámina se une al disco a través de un estipe cilíndrico cuyo



extremo se aplanan y ensanchan en sentido apical para formar la fronda u hoja.

En Chile, *D. antarctica* se distribuye desde Coquimbo (29° 58' S) hasta la zona del Estrecho de Magallanes (55° 59' S). En las regiones central y centro sur *D. antarctica* habita junto a *Lessonia spicata* en sustratos rocosos de niveles altos del sublitoral expuesto al oleaje; pero hacia el sur *D. antarctica* se hace dominante. Se encuentra

también en Nueva Zelanda, Argentina, Islas Malvinas, Islas Heard, Islas McDonald e Islas Kerguelen, Islas Antárticas y Subantárticas.

Esta especie posee potencial de cultivo. Los precios promedio fluctúan entre \$470 kilo húmedo y \$680 kilo semi-seco / seco.

## ¿CÓMO CULTIVO COCHAYUYO?

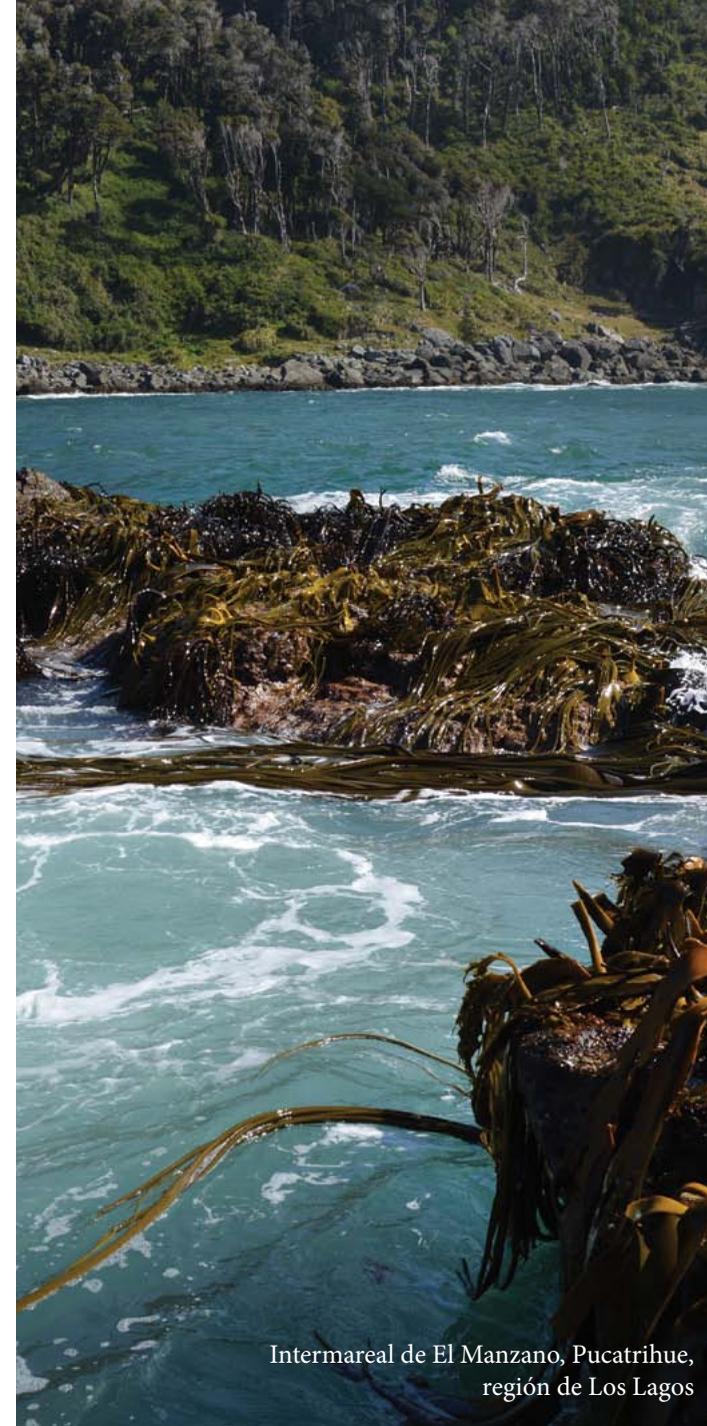
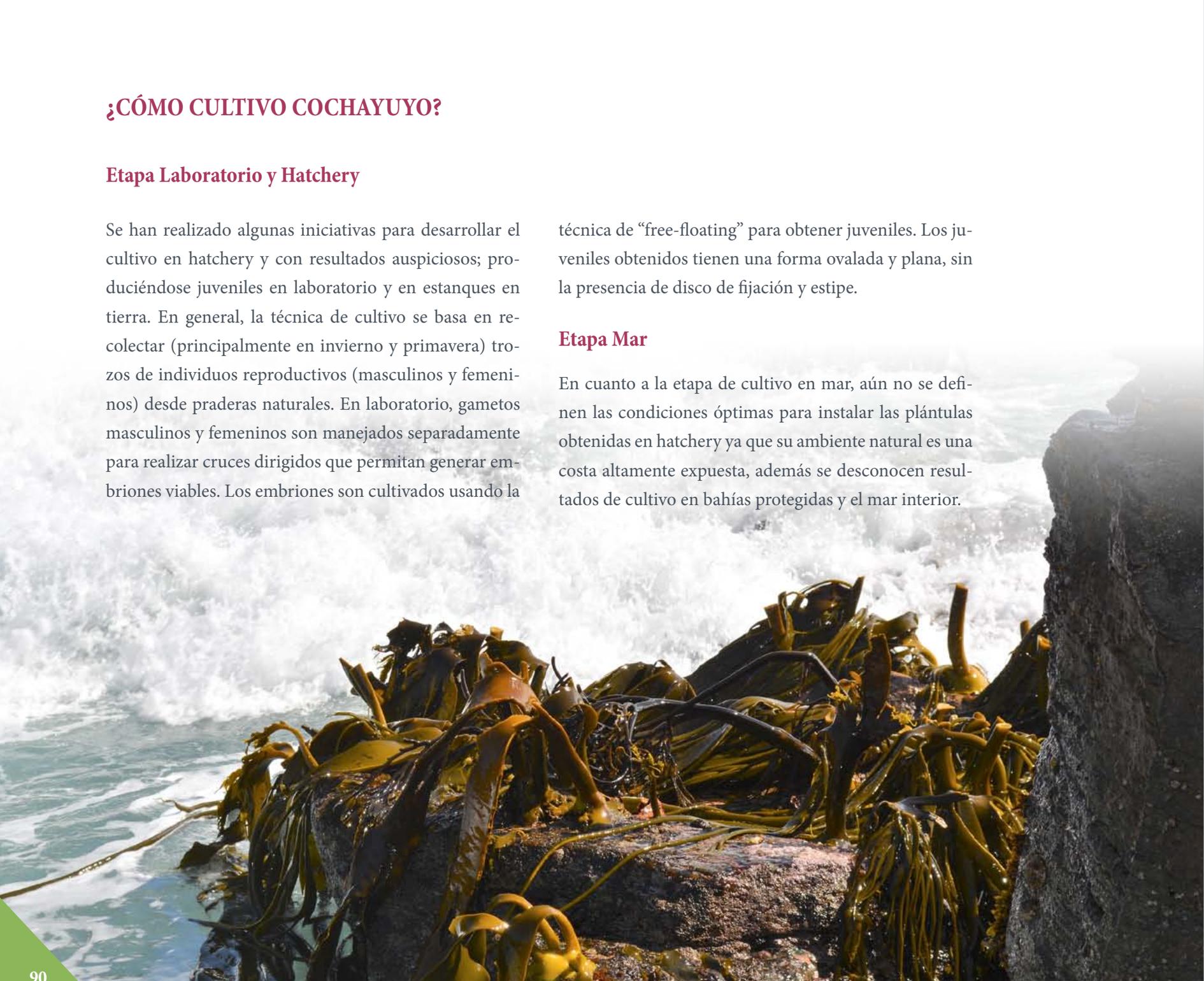
### Etapa Laboratorio y Hatchery

Se han realizado algunas iniciativas para desarrollar el cultivo en hatchery y con resultados auspiciosos; produciéndose juveniles en laboratorio y en estanques en tierra. En general, la técnica de cultivo se basa en recolectar (principalmente en invierno y primavera) trozos de individuos reproductivos (masculinos y femeninos) desde praderas naturales. En laboratorio, gametos masculinos y femeninos son manejados separadamente para realizar cruces dirigidos que permitan generar embriones viables. Los embriones son cultivados usando la

técnica de “free-floating” para obtener juveniles. Los juveniles obtenidos tienen una forma ovalada y plana, sin la presencia de disco de fijación y estipe.

### Etapa Mar

En cuanto a la etapa de cultivo en mar, aún no se definen las condiciones óptimas para instalar las plántulas obtenidas en hatchery ya que su ambiente natural es una costa altamente expuesta, además se desconocen resultados de cultivo en bahías protegidas y el mar interior.



Intermareal de El Manzano, Pucatrihue, región de Los Lagos

### Producciones

No existen reportes de producción en mar, el desarrollo del cultivo se encuentra a nivel experimental.

### FACTORES CRÍTICOS DEL CULTIVO

En etapa de laboratorio es importante considerar la estacionalidad en la obtención del material reproductivo y la densidad de gametos para obtener una cantidad óptima de juveniles. La etapa de engorda o cultivo en mar aún se encuentra en desarrollo.



Los grampones o discos de fijación son reservorios de una gran diversidad de organismos.

# RESUMEN



En Chile, se han realizado numerosas investigaciones asociadas a proyectos con resultados promisorios para el cultivo de algunas macroalgas. De las catorce especies de macroalgas que muestra esta publicación, las que han sido exitosamente probadas en experiencias de cultivo son: Pelillo, Chicorea de mar y Huiro

Las Organizaciones de Pescadores Artesanales con Áreas de Manejo o Concesiones de Acuicultura pueden realizar cultivos de macroalgas como una forma de diversificar su actividad productiva y aumentar los ingresos; el Estado de Chile ha creado políticas públicas orientadas a impulsar su desarrollo como la Ley 20.925

Las plántulas y/o semillas pueden obtenerse desde hatcheries autorizados o bien desde el medio natural.

Por lo general, las plántulas deben ingresar al sistema de cultivo (long line u otro) preferentemente en los meses mayo o junio de cada año.

Los niveles de producción se encuentran relacionados directamente con la selección del sitio, tipo de macroalga y mantención o limpieza del sistema de cultivo que se ocupe.

En la actualidad no existen diferencias entre los precios de las macroalgas provenientes de cultivo de la que se obtiene de pradera natural.

Para mejorar el precio, basado en la venta de materia prima de bajo costo por unidad de volumen, es necesario otorgar valor agregado a la biomasa o bien potenciar un mercado interno a través del uso de macroalgas como alimento.

## EMPRENDIMIENTOS CON MACROALGAS

A partir del año 2014, comienzan a visualizarse en Chile los primeros emprendimientos desarrollados en base a macroalgas con valor agregado. Esta situación ha permitido asegurar la venta de un determinado volumen y mejorar los precios en playa, con beneficio directo para los pescadores artesanales.

MUNANI y KALLOFKEN son un ejemplo de emprendedores que de una u otra forma han acercado las macroalgas a la población chilena. Los productos gourmet que ofrecen (snacks, barras de cereal, macroalgas deshidratadas en escamas, mermeladas, etc.) son agradables a la vista y de mayor precio en comparación con los productos tradicionales.

Poco a poco se han sumado más emprendimientos; la mayoría realizados por mujeres de pequeñas localidades costeras del país (Navidad, Cobquecura, Estaquilla, Dalcahue, entre otras).



Recolectoras de algas en Chauman, Chiloé, región de Los Lagos

En general, los emprendedores han realizado alianzas estratégicas para el abastecimiento de la materia prima con agrupaciones de algueros y recolectores de diferentes zonas de la costa del país. Quizás en un futuro cercano el abastecimiento se produzca a partir de macroalgas cultivadas en AMERB's y CCAA.

Casos de éxito en el desarrollo de alternativas innovadoras en base a macroalgas con el fin de masificar el consumo de macroalgas en Chile.



### Javiera Gutiérrez A.

Socia fundadora MUNANI

*“Las macroalgas son el alimento del futuro”*

#comamos macroalgas



### Fabián Ramírez M.

Fundador de KOLLOFKEN

*“Rescatar un alimento patrimonial de Chile (Cochayuyo)”*



### Ximena Cárcamo S.

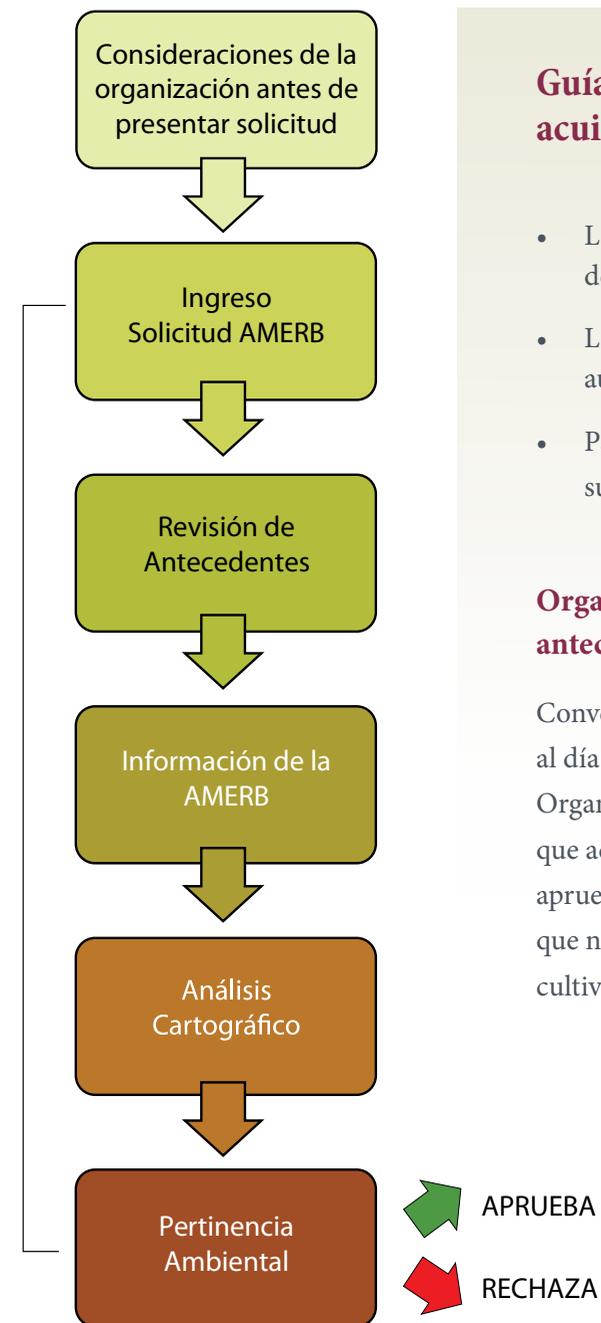
Sindicato Pescadores Artesanales Buzos  
Mariscadores Algueros La Pampina, Los Muermos, Región de Los Lagos.

*“Las macroalgas de la región son las más sanas y naturales de Chile”*

## DISTRIBUCIÓN REGIONAL DE CENTROS DE INVESTIGACIÓN QUE TRABAJAN EN CULTIVOS



PROCESO DESARROLLADO EN SUB PESCA



## Guía para la tramitación del permiso de acuicultura de macroalgas en AMERB

- La organización debe decidir qué especie de alga cultivará dentro de la AMERB .
- La semilla del alga debe provenir de un centro legalmente autorizado para esto.
- Para cultivar algas se puede ocupar hasta un 40% de la superficie de la AMERB.

### Organización debe considerar los siguientes antecedentes en la solicitud AMERB

Convenio de Uso AMERB Vigente + Informes de Seguimiento al día + Solicitud y Proyecto técnico AAMERB + Copia RUT Organización + Copia RUT Representante Legal + Documento que acredite vigencia de Organización + Acta Asamblea que apruebe AAMERB + Certificado CAPUERTO que indique que no se interfiere navegación + Polígono donde se realizará cultivo representado en carta batitológica

## Trámites para realizar acuicultura en CCAA



\* Subsecretaría para las Fuerzas Armadas

### Distancia entre centros según sistema de producción:

SISTEMA DE PRODUCCIÓN	Macroalgas	Extensivo	Intensivo	Intensivo alimentado sólo con macroalgas
Algas	0	0	0	400 m
Extensivo	0	200 m	400 m	400 m
Intensivo	0	400 m	1,5 mn	400 m
Intensivo alimentado sólo con macroalgas	400	400 m	400 m	400 m*

m = metros y Mn = millas náuticas

\* Entre las regiones de Arica y Parinacota hasta Coquimbo, no aplican distancias.

### Periodicidad de entrega y elaboración de la Información Ambiental (INFA)

TIPO CENTRO	PERIODICIDAD INFA	FECHA MUESTREO
EXTENSIVOS	Cada dos años o tres años	Dentro del segundo o tercer año, hasta dos meses antes de su término.
INTENSIVOS: (alimentación sólo macroalgas)	Cada dos años	Dentro del segundo año, hasta dos meses antes de su término.
INTENSIVOS	Por ciclo productivo	Dos meses antes de iniciarse la cosecha

### Características de los Centros o Proyectos que deben ingresar al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA)

Sistema de producción	Tipo de recursos hidrobiológicos	No ingresan al SEIA (menor o igual al valor indicado)	
		Nivel de producción (ton)	Superficie (hás)
Extensivo	Macroalgas	500	10
Extensivo	Moluscos filtradores	300	6
Extensivo	Otras especies filtradoras	40	-
Intensivo	Equinodermos, crustáceos, moluscos no filtradores, peces, y otras especies	35	-

## GLOSARIO

**Acuicultura de Pequeña Escala (APE):** Es la actividad de cultivo de recursos hidrobiológicos realizada por micro y pequeñas empresas según el Estatuto de Empresas de Menor Tamaño, del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo.

**Anteridio:** estructura reproductiva que produce gametos masculinos móviles (con uno o más flagelos).

**Área de manejo y explotación de recursos bentónicos (AMERB):** medida administrativa pesquera que asigna derechos exclusivos de uso y explotación de recursos bentónicos a organizaciones de pescadores artesanales constituidos legalmente, en sectores geográficos reservados para la pesca artesanal.

**Arqueospora:** célula germinativa única formada por la maduración de una célula vegetativa.

**Bastidores:** marco de PVC donde se enrollan cuerdas (perlón, poli-propileno) que son utilizadas como sustrato para la fijación de esporas.

**Carpogonio:** célula sexual femenina, en algas rojas, que contiene el huevo o gameto femenino.

**Carpóspera:** espora diploide de las algas rojas producida en un carposporangio, producto de la fertilización de la célula femenina y el espermacio.

**Carposporangio:** célula que contiene a las carpósporas.

**Carposporofito:** fase reproductiva diploide, en ciclo de vida de las algas rojas, que corresponde al desarrollo (sobre el gametofito femenino) del cigoto que luego de su desarrollo y madurez forma y libera carpósporas.

**Ciclo de Vida:** etapa completa de vida de un ser vivo.

**Cigotospora:** célula reproductiva producida por la fertilización del tricógino femenino por un espermacio.

**Cirripedio:** crustáceos sésiles con el cuerpo protegido por placas calcáreas.

**Cistocárpica:** fase reproductiva en algas rojas que se genera por re-

producción sexual. Esta fase produce esporas diploides llamadas carpósporas.

**Cistocarpo:** cuerpo reproductivo que crece como una protuberancia en las algas rojas y que contiene a la fase carposporofito. Cuando el cistocarpo madura, libera carpósporas.

**Conceptáculo:** cavidad abierta a la superficie y que contiene estructuras reproductivas.

**Concesión de Acuicultura (CCAA):** medida administrativa que el Ministerio de Defensa Nacional otorga a una persona los derechos de uso de una porción de playa o de fondo marino (incluyendo la columna de agua); se entrega por un tiempo indefinido para realizar actividades de acuicultura.

**Conchospora:** tipo de espora producida por los conchosporangios, durante una fase del ciclo de vida del Luche.

**Conchosporangio:** órgano generador de conchosporas en la fase conchocelis de luche.

**Cosecha:** acción de extraer la producción desde un centro de cultivo.

**Diploide:** células que poseen dos juegos de cromosomas homólogos (2n).

**Epibionte:** organismo que vive adherido a otro organismo/especie.

**Epífito:** algas u organismo vegetal que utiliza a otras algas o plantas como sustrato, no obtiene nutrientes desde sus hospederos.

**Espora:** célula reproductiva asexual en algas.

**Esporofito:** talos de algas que forman esporas para su reproducción.

**Espermacio:** célula reproductiva masculina, sin movilidad. Producidas en frondas gametofíticas de algas rojas.

**Espematangio:** en algas rojas, célula reproductiva masculina que produce un espermacio.

**Esporofila:** fronda reproductiva ubicada en la base del talo de Macrocytis.

**Esporulación:** proceso de liberación de esporas.

**Estipe:** parte basal del talo de las algas, originado a partir del disco de fijación, y que sostiene a la fronda.

**Fase conchocelis:** estado asexual del ciclo de vida del luche.

**Fecundación:** proceso mediante el cual se fusionan gametos femeninos y masculinos para dar origen a un nuevo organismo.

**Ficocoloides:** coloide o gel que se obtiene de las paredes celulares de las macroalgas.

**Fotoperiodo:** lapso de tiempo de horas de luz, en un ciclo de 24 horas.

**Fouling:** conjunto de organismos indeseados y de rápido crecimiento que colonizan la estructura de cultivo de una especie reduciendo su disponibilidad de luz y movimiento en el agua para su desarrollo y crecimiento normal.

**Fronda:** Parte principal de una macroalga a cargo de la fotosíntesis y de la reproducción. Puede ser laminar, ramificada, tubular, filamento-sa. Semejante a las hojas de una planta terrestre.

**Gametofito:** fase reproductiva haploide en el ciclo de vida de las algas rojas, se caracteriza por producir gametos: espermacios y oocélulas.

**Gametos:** células reproductivas sexuales.

**Grampón:** o disco de fijación, estructura mediante la cual el talo se fija al sustrato.

**Haploide:** célula que en su núcleo presentan solo una serie simple de cromosomas (n).

**Hatchery:** espacio construido para la producción masiva de estados iniciales de alguna especie de macroalga que se quiere cultivar. En su interior se encuentra implementado con estanques, sistemas de circulación de agua de mar, filtros de agua, luz UV, sistemas de aireación, luz artificial, de temperatura etc.

**Heteromórfico:** ciclo de vida en que los talos del gametofito (n) y esporofito (2n) muestran diferentes morfologías, generalmente una macroscópica erecta y otra microscópica crustosa, filamentosa o postrada.

**Mitosis:** proceso de reproducción de una célula; se obtienen dos células hijas con el mismo número de cromosomas (diploide) y la misma información genética de la célula madre.

**Meiosis:** división celular reductiva, en la que el número de cromosomas queda reducido a la mitad. Las células resultantes presentan un número haploide de cromosomas.

**Meiosporangio:** estructura en la cual se producen esporas por meiosis.

**Miticultura:** cultivo de los moluscos del género *Mytilus* (chorito, choro araucano, choro zapato) para su explotación económica.

**Monospora:** espora que se forma por división oblicua de una célula madre esporangial.

**Oogonio:** célula reproductiva femenina que contiene uno o más óvulos (gametos femeninos).

**Oocélula:** gameto femenino, sinónimo de óvulo.

**Pectinicultura:** cultivo del ostión (molusco bivalvo) para su explotación económica.

**Talo:** cuerpo vegetativo de las algas, que no diferencia estructuras definidas.

**Tetráspora:** en algas rojas, espora asexual producida en un tetraesporangio.

**Tetrasporangio:** en algas rojas, estructura reproductiva de la fase trasporofito que por meiosis produce esporas denominadas tetrásporas.

**Tetrasporofito:** fase reproductiva, en el ciclo de vida de las algas rojas, que se caracteriza por producir células reproductivas asexuales llamadas tetrásporas.

**Tricógino:** prolongación de la célula sexual femenina de algas rojas que recibe al espermacio en la fecundación.

**Trifásico:** o de tres fases, se utiliza para mencionar que un ciclo de vida (algas rojas) posee dos fases diploides (carposporofito y tetrasporofito) y una haploide (gametofitos).

**Valvas:** caparazón calcáreo doble de moluscos filtradores (almejas, choritos).

**Zoosporas:** espora móvil provista de flagelos en algas pardas

## LITERATURA CONSULTADA

### Aspectos Generales

D.S. N°96-2015. Establece Reglamento de Actividades de acuicultura en Áreas de manejo y Explotación de Recursos Bentónicos.

Henríquez-Antipa LA, Cárcamo F (2019) Stakeholder´s multidimensional perceptions on policy implementation gaps regarding the current status of Chilean small-scale seaweed aquaculture. *Mar Policy* 103:138–147

Hoffmann, A. y B. Santelices. 1997. *Flora Marina de Chile Central*. Ediciones Universidad Católica de Chile. 434 pp.

Ley 20.925, 2016. Crea Bonificación para el Repoblamiento y Cultivo de Algas.

Moreira D & Pires JCM (2016) Atmospheric CO2 capture by algae: negative carbon dioxide emission path. *Bioresour Technol.* 215: 371–379

Neori A, Troell M, Chopin T, Yarish C, Critchley A & Buschmann AH (2007) The need for a balanced ecosystem approach to blue revolution aquaculture. *Environmental Science and Policy for Sustainable Development.* 49 (3): 36–43.

Radulovich R, Neori A, Valderrama D, Reddy CRK, Cronin H & Forster J. (2015) Farming of seaweeds. In: Tiwari, B.K., Troy, D.J. (Eds.), *Seaweed Sustainability — Food and Non-Food Applications*. Elsevier, Amsterdam (The Netherlands).

Ramírez ME & Santelices B (1991) Catálogo de las algas marinas bentónicas de la costa templada del pacífico de Sudamérica. *Monografías Biológicas* 5: 1-437.

Santelices B (1989) *Algas Marinas de Chile. Distribución, Ecología, Utilización y Diversidad*. Universidad Católica de Chile, Santiago 399 pp.

Sernapesca, 2017. Anuario Estadístico de Pesca y Acuicultura. [www.sernapesca.cl](http://www.sernapesca.cl)

### Cultivos Macroalgas Alginófitas

Ávila M, Merino C, Guissen K & Piel MI (2010) *Manual de Cultivo de Macroalgas Pardas: desde el laboratorio al océano*. Proyecto FIC-R. Universidad Arturo Prat, Iquique, Chile. 33 pp.

Ávila M, Merino C, Piel MI, Riquelme R, Guissen K, Pizarro P, Rojas A. (2017). Manual para el cultivo y repoblamiento del huiro negro (*Lessonia berteroa*) Serie Programa Educativo Participativo para la Pesca Artesanal. III Cultivo y repoblamiento de Huiro negro. 47 pp.

Bickford D., Lohman D.J., Sodhi N.S., Ng P.K.L., Meier R., Winker K., Ingram K.K. & Das I. 2006. Cryptic species as a window on diversity and conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, 22: 148-155.

Buschmann A.H., Moreno C., Vásquez J.A., Hernández-González M.C. (2006) Reproduction strategies of *Macrocystis pyrifera* (Phaeophyta) in Southern Chile: The importance of population dynamics. In: Anderson R., Brodie J., Onsøyen E., Critchley A.T. (eds) *Eighteenth International Seaweed Symposium. Developments in Applied Phycology*, vol 1. Springer, Dordrecht.

Camus C & Buschmann H (2017). *Macrocystis pyrifera* aquafarming: Production optimization of rope-seeded juvenile sporophytes. *Aquaculture* 468: 107–114.

Correa T, Gutiérrez A, Flores R, Buschmann A, Cornejo P & Bucarey C (2014) Production and economic assessment of giant kelp *Macrocystis pyrifera* cultivation for abalone feed in the south of Chile. *Aquaculture Research* 47(3) 698-707.

Guisado C (2017). Diseño y valoración de modelos de cultivo para la acuicultura de pequeña escala. Proyecto FIPA N°2015-02. 556 pp.

Gutiérrez A, Correa T, Muñoz V, Santibañez A, Marcos R, Cáceres C & Buschmann AH (2006) Farming of the giant kelp *Macrocystis pyrifera* in southern Chile for development of novel food products. *Journal of Applied Phycology* 18: 259-267.

- Gutiérrez A. 2010. Programa de difusión tecnológica INNOVA CHILE Proyecto CORFO 208-7572 “Difusión y fomento de la tecnología del cultivo y comercialización de *Macrocystis* “huairo” en la Región de Coquimbo, como alimento para abalones y otros usos industriales.
- Koch K, Thiel M, Tellier F, Hagen W, Graeve M, Tala F, Laeseke P & Bischof K (2015) Species separation within the *Lessonia nigrescens* complex (Phaeophyceae, Laminariales) is mirrored by ecophysiological traits. *Botánica Marina* 58(2): 81-92.
- Leal P.P., Hurd C.L. & Roleda M.Y. 2014. Meiospores produced in sori of non-sporophyllous laminae of *Macrocystis pyrifera* (Laminariales, Phaeophyceae) may enhance reproductive output. *Journal of Phycology* 50: 400–405.
- Leal P.P., Hurd C.L., Fernández, P. A. & Roleda M.Y. 2017. Meiospore development of the kelps *Macrocystis pyrifera* and *Undaria pinnatifida* under ocean acidification and ocean warming: independent effects are more important than their interaction. *Marine Biology* 164: 7
- Macchiavello J, Araya E & Bulboa C (2010). Production of *Macrocystis pyrifera* (Laminariales: Phaeophyceae) in northern Chile on spore-based culture. *Journal of Applied Phycology* 22: 691-697.
- Tala F & Vásquez J (2015) Acuicultura de Macroalgas a Pequeña Escala en Áreas de Manejo de la región de Coquimbo. *Revista Versión Diferente, Salmón Acuicola*. 5 pp.
- Tellier, F., A.P. Meynard, J.A. Correa, S. Faugeron and M. Valero. 2009. Phylogeographic analyses of the 30°S south-east Pacific biogeographic transition zone establish the occurrence of a sharp genetic discontinuity in the kelp *Lessonia nigrescens*: Vicariance or parapatry? *Mol. Phylogenet. Evol.* 53: 679–693.
- Tellier F., J. Tapia, S. Faugeron, C. Destombe & M. Valero. 2011. The *Lessonia nigrescens* species complex (Laminariales, Phaeophyceae) shows strict parapatry and complete reproductive isolation in a secondary contact zone. *Journal of Phycology*, 47, 894–903.
- Vásquez J & Santelices B (1984) Comunidades de macroinvertebrados en discos adhesivos de *Lessonia nigrescens* Bory (Phaeophyta) en Chile central, *Revista Chilena de Historia Natural* 57: 131-154.
- Vásquez J, Piaget N & Vega A (2012) The *Lessonia nigrescens* fishery in northern Chile: “how you harvest is more important than how much you harvest” *Journal of Applied Phycology* 24:417–426.
- Vásquez JA, Zuñiga S, Tala F, Piaget N, Rodríguez DC & Vega A (2014) Economic valuation of kelp forests in northern Chile: values of goods and services of the ecosystem. *Journal of Applied Phycology* 26: 1081–1088.
- Westermeier R, Patiño D, Piel MI & Müller DL (2005) Manual de Cultivo de alga parda *Macrocystis pyrifera* (Huiro), Chile. Proyecto FONDEF DOI1144. Universidad Austral de Chile, Chile. 38 pp.
- Westermeier R, Patiño D, Piel MI, Maier I & Mueller D (2006) A new approach to kelp mariculture in Chile: production of free-floating sporophyte seedlings from gametophyte cultures of *Lessonia trabeculata* and *Macrocystis pyrifera*. *Aquaculture Research* 37: 164-171.
- Westermeier R. Patiño D & Murúa P & Dieter G. Müller (2011) *Macrocystis* mariculture in Chile: growth performance of heterosis genotype constructs under field conditions, *Journal of Applied Phycology* 23:819–825.
- Cultivos Macroalgas Agarófitas**
- Ávila M, Villanueva F, Yokoya N & Mansilla A (2012) Manual de cultivo de *Ahnfeltia plicata* (Hudson) Fries en base a fitohormonas (reguladores de crecimiento). Universidad Arturo Prat - Universidad de Magallanes. 31 pp.
- Barrales, H. & A. Pizarro. 1984. Prefactibilidad técnica del cultivo controlado del alga *Gracilaria* sp., II Parte. Convenio Universidad de Concepción SERPLAC II Región. Informe 213 pp.
- Buschmann A, Westermeier R & Retamales CA (1995) Cultivation of *Gracilaria* on the sea-bottom in southern Chile: a review. *Journal of Applied Phycology* 7: 291-301.
- Candia A, Galleguillos F, Núñez M & Aroca G (2006) Avances en el mejoramiento productivo del “pelillo”. Proyecto FDI – CORFO 01CR3PT-13. Instituto de Fomento Pesquero. 26 pp.
- Chen LCM (1977) The sporophyte of *Ahnfeltia plicata* (Huds.) fries (Rodophyceae, Gigartinales) in culture. *Phycology* 16: 163-168.
- Cohen S, Faugeron S, Martínez EA, Correa JA, Virad F, Destombe C, Valero M (2004) Molecular Identification of two sibling species under the name *Gracilaria chilensis* (Rhodophyta, Gracilariales), *Journal of Phycology*. 40: 742-747.
- Correa J, Ávila M & Santelices B (1985) Effects of some environmental factors on growth of sporelings in two species of *Gelidium* (Rhodophyta). *Aquaculture* 44: 221-227.
- Doty MS, Caddy JF & Santelices B (1986). Case studies of seven commercial seaweed resources. *FAO Fish.Tech. Pap.* (281): 311 p.
- Friedlander M (2007) Advances in cultivation of Gelidiales. *Journal of Applied Phycology* 20: 1-6.
- Kain JM & Destombe C (1995) A review of the life history, reproduction and phenology of *Gracilaria*. *Journal of Applied Phycology* 7: 269-281.
- Mansilla A, Rodríguez JP, Souza J, Rosenfeld S, Ojeda J & Yokoya NS (2014). Growth responses to temperature, salinity and nutrient variations, and biomass variation and phenology of *Ahnfeltia plicata* (Rhodophyta, Ahnfeltiales), a commercial interesting agarophyte from the Magellan Region, Chile. *Journal Applied Phycology*.26: 1133-1139.
- Matsuhiro, B., Barahona, T., Encinas, M. V., Mansilla, A., & Ortiz, J. A. (2014). Sulfation of agarose from subantarctic *Ahnfeltia plicata* (Ahnfeltiales, Rhodophyta): studies of its antioxidant and anticoagulant properties in vitro and its copolymerization with acrylamide. *Journal Applied Phycology* 26(5):2011-2019.
- Montalva S & Santelices B (1981) Interspecific interference among species of *Gelidium* from central Chile. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 53: 77-88.
- Ojeda J, Rosenfeld S, Vega N & Mansilla A (2016) Records preliminaries on vegetative cultivation of *Ahnfeltia plicata* (Hudson), fries 1836 in Sub-antarctic Magellanic channels of southern Chile. *Anales de la Patagonia (Chile)* 44: 5-13.
- Oliger P & Santelices B (1981) Physiological ecology studies on Chilean Gelidiales. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 53: 65-76.
- Otaíza, R. & J. Cáceres. 2017. “Manual de una técnica para el repoblamiento de la chasca delgada, *Gelidium lingulatum* Kützting (Rhodophyta, Gelidiales), en roqueríos intermareales, Región del Biobío”. Proyecto FONDEF-REGIONAL D013.
- Pizarro, A. 1986. Conocimiento actual y avances recientes sobre el manejo y cultivo de *Gracilaria* en Chile. *Monografías Biológicas*. P. Universidad Católica de Chile. 4: 63:96.
- Rojas R, León N & Rojas R (1996) Practical and descriptive techniques for *Gelidium rex* (Gelidiales, Rhodophyta) culture. *Hydrobiologia* 326:367-370.
- Titlyanov EA, Titlyanova TV, Kadel P & Lüning K (2006) Obtaining plantlets from apical meristem of the red alga *Gelidium* sp. *Journal of Applied Phycology* 18:167–174.
- Villanueva F, Ávila M, Mansilla A & Cáceres J (2010). Desarrollo de técnicas de micropropagación in vitro de *Ahnfeltia plicata* (Hudson) Fries, 1836 (Ahnfeltiales, Rhodophyta) de la Región de Magallanes. Resúmenes XXX Congreso de Ciencias del Mar. Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción, 2010) P:179.
- Cultivos Macroalgas Carragenófitas**
- Alveal K, Candia A, Collantes G, Edding M, Fonck E, Melo C, Poblete A, Rivera P, Romo H & Westermeier R (1990) Guía de Algas Marinas Chilenas de Importancia Económica. Red de Algas Marinas, Chile, 114pp.

- Ávila M, G Aroca, R Riquelme, D Rodríguez, A Grünewald. 2018. Manual cultivo del alga comestible: chasca o chicoria de mar *Chondracanthus chamissoi*. Serie Programa Educativo Participativo para la Pesca Artesanal. V Cultivo de chasca-chicoria de mar. 30 pp. ISBN 978-956-302-105-9.
- Ávila M, R Riquelme. 2015. Manual del cultivo vegetativo de luga roja (*Gigartina skottsbergii*). Serie Programa educativo Participativo para la Pesca Artesanal. III El cultivo vegetativo de la luga roja. Universidad Arturo Prat. 35 pp. ISBN 9789563020892
- Ávila, M., Ask, E., Rudolph, B. Núñez, M. & Norambuena, R. 1999. Economic feasibility of *Sarcothalia* (Gigartinales, Rhodophyta) Cultivation. *Hydrobiologia* 398/399 : 435-442.
- Ávila M, Candia A, Núñez M & Romo H (1999) Reproductive biology of *Gigartina skottsbergii* (Gigartinales, Rhodophyta) from Chile. *Hydrobiologia* 398/399: 149-147.
- Bidwell R, McLachlan J & Lloyd N (1985). Tank cultivation of Irish moss, *Chondrus crispus* Stackh. *Botánica marina*, 28(3), 87-98.
- Buschmann AH, Correa JA & Westermeier R (1999) Recent advances in the understanding of the biological basis for *Gigartina skottsbergii* (Rhodophyta) cultivation in Chile. *Hydrobiologia* 398/399: 427-434.
- Candia A, Núñez M, Galleguillos F, Aroca Y & Saavedra S (2013). Protocolo de Cultivo de Luga Negra y Luga Roja. Proyecto HUAM-FONDEF AQ 08I1031. Instituto de Fomento Pesquero, 16 pp.
- Candia A & Núñez M (2017). Manual de Técnicas de repoblación y cultivo de “luga negra” (*Sarcothalia crispata*). Proyecto HUAM-FONDEF AQ 08I1031. Instituto de Fomento Pesquero, 35 pp.
- Edding M, Fonck E, Acuña R & Tala F (2008) Cultivation of *Chondrus canaliculatus* (C. Agardh), *Greville* (Gigartinales, Rhodophyta) in controlled environments. *Aquaculture International* 16: 283-295.
- Hommersand MH, Guiry M, Fredericq S & Leister GL (1993). New perspectives in the taxonomy of the Gigartinales (Gigartinales, Rhodophyta). *Hydrobiologia* 260-261: 105-120.
- Mansilla A, Werlinger C, Palacios M, Navarro N & Cuadra P (2006) Effects of UVB radiation on the initial stages of growth of *Gigartina skottsbergii*, *Sarcothalia crispata* and *Mazaella laminarioides* (Gigartinales, Rhodophyta). *Journal of Applied Phycology* 18: 451-459.
- Otaíza RD & Cáceres J (2015) Manual de una técnica para el repoblamiento de la luga corta, *Mazaella laminarioides* (Bory) Fredericq (Rhodophyta, Gigartinales), en roqueríos intermareales, Región del Biobío. Proyecto FONDEF-HUAM AQ12I0004. 40 pp.
- Romo, H. K. Alvear & C. Werlinger. (2001). Growth of the commercial carragenophyte *Sarcothalia crispata* (Rhodophyta, Gigartinales) on suspended culture in central Chile. *Journal of Applied Phycology* 13: 229-234.
- Romo H, Ávila M, Núñez M, Pérez R, Candia A & Aroca G (2006) Culture of *Gigartina skottsbergii* (Rhodophyta) in southern Chile. A pilot scale approach. *J. Appl. Phycol.* 18: 307-3014.
- Santelices B & Aedo D (2006) Group recruitment and early survival of *Mazaella laminarioides*. *Journal of Applied Phycology* 18: 583-589.
- Westermeier R, Patiño D, Murúa P, Quintanilla J, Correa J, Buschmann A & Barros I. (2012). A pilot-scale study of the vegetative propagation and suspended cultivation of the carrageenophyte alga *Gigartina skottsbergii* in southern Chile. *J Appl Phycol* 24:11-20.
- Zamorano J & Westermeier R (1996). Phenology of *Gigartina skottsbergii* (Gigartinales, Rhodophyta) in Ancud bay, southern Chile. *Hydrobiologia* 326/327: 253-258.
- Zamorano (2014). Industria de ALGAS productos demandados y mercado. Presentación en Seminario de Diversificación Acuícola.
- Zertuche-González JA, García-Lepe G, Pacheco-Ruiz I, Chee A, Gendrop V & Guzmán JM (2001) Open water *Chondrus crispus* stachhouse cultivation. *Journal of Applied Phycology* 13: 249-253.
- ### Cultivos Macroalgas Comestibles
- Arakaki N, Alveal K, Ramirez ME & Frederic S (2012) The Genus *Callophyllis* (Kallymeniaceae, Rhodophyta) from Central-South Chilean Coast (33° to 41° S), with the description of two new species. *Revista Chilena de Historia Natural* 84: 418-499.
- Ávila M, Piel MI & Cáceres J. (2010) Cultivation of the red alga *Chondracanthus chamissoi*: sexual reproduction and seedling production in culture under controlled conditions. *Journal of Applied Phycology* 23:529-536.
- Ávila M, Alcapán A, Piel MI, Ramírez ME & Cortés M (2012) Manual de cultivo del alga comestible *Callophyllis variegata* (Bory) Kützing (“carola”) en el sur de Chile. Serie Programa Educativo para el desarrollo de la acuicultura de especies nativas. Universidad Arturo Prat. 44 pp. FONDEF D08I1067.
- Barrientos E & Otaíza R (2014) Juveniles generados a partir de esporas no asentadas de *Chondracanthus chamissoi* (Rhodophyta, Gigartinales) presentan capacidad de adhesión al sustrato. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 49(1):135-140.
- Bulboa C, Macchiavello J, Oliveira E, Fonck E (2005) First attempt to cultivate the carrageenan-producing seaweed *Chondracanthus chamissoi* (C. Agardh) Kützing (Rhodophyta; Gigartinales) in northern Chile. *Aquac Res* 36:1069-1074.
- Bulboa C & Macchiavello J (2006) Cultivation of cystocarpic, tetrasporic and vegetative fronds of *Chondracanthus chamissoi* (Rhodophyta, Gigartinales) on ropes at two localities in northern Chile. *Investigaciones Marinas, Valparaíso* 34: 109-112.
- Buschmann AH, Correa JA, Westermeier R, Hernández-González MC. & Norambuena R (2001). Cultivation of red algae in Chile: a review. *Aquaculture* 194: 203 – 220.
- Collantes G, Merino A & Lagos V (2002) Fenología de la gametogénesis, madurez de conceptáculos, fertilidad y embriogénesis en *Durvillaea antarctica* (Chamisso) Hariot (Phaeophyta, Durvillaeales). *Revista de biología marina y oceanografía* 37: 83-112.
- Escalona M, Hernández M, Güttler P, Filún L, Aroca G, Vidal L, Cifuentes M, Westermeier R & Buschmann AH (1998). Abundancia, fenología y cultivo de *Callophyllis variegata* (Bory) Kützing (Rhodophyta): un alga comestible. Resumen XVIII Congreso Ciencias del Mar Sociedad chilena de Ciencias del Mar, Iquique, Chile, 04-08 mayo 156 pp.
- Filún L, Reyes B, Espinoza E, A, Buschmann AH. & Westermeier R (1999) Ecología de *Callophyllis variegata* (Gigartinales, Rhodophyta) en Punta Corona (Isla de Chiloé). Resumen XIX Congreso Ciencias de Mar Sociedad Chilena de Ciencias del Mar, Antofagasta, Chile, 03-07 mayo, 108 pp.
- Fonck E, Martínez R, Vásquez J & Bulboa C (2008) Factors that affect the reattachment of *Chondracanthus chamissoi* (Rhodophyta, Gigartinales) thalli. *Journal of Applied Phycology* 20: 311-314.
- González A. & Santelices, B. (2003). A re-examination of the potential use of central Chilean *Porphyra* (Bangiales, Rhodophyta) for human consumption. In: Chapman, A.R.O., Anderson, R.J., Vreeland, V.J., Davidson, I. (Eds.), Proc. 17th Intern. Seaweed Symp. Oxford University Press Inc., NY, pp. 249-255.
- Guillemin ML, Contreras-Porcía L, Ramirez ME, Macaya E, Bulboa Contador C, Woods H, Wyatt C & Brodie J (2016) The bladed Bangiales (Rhodophyta) of the South Eastern Pacific: Molecular species delimitation reveals extensive diversity. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 94: 814-826.
- Gutiérrez A, Varela D, Zúñiga A, Paredes J, Villarroel A, Ruiz A, Muñoz V, Martínez C, Oroz L & Naiman H (2016) Desarrollo de Tecnologías de cultivo y repoblamiento de *Durvillaea antarctica* “cochayuyo”: implicancias para la diversificación de la acuicultura y manejo de poblaciones natural.
- Güttler P (2000). Dinámica poblacional de *Callophyllis variegata* (Rhodophyta, Kallymeniaceae) y especies asociadas en Punta Corona (Ancud, Chiloé). Informe Práctica profesional. Universidad de los Lagos, Osorno, Chile. P.64.





## INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

José Manuel Balmaceda 252, Puerto Montt

Teléfono: +56 32 3311280 - [www.ifop.cl](http://www.ifop.cl)

Esta publicación resume la información sobre los avances en las tecnologías de cultivo de catorce especies de macroalgas nativas con potencial uso en acuicultura de pequeña escala. Su ejecución se realizó en el marco del “**Programa Integral de Desarrollo de Acuicultura de Algas para Pescadores Artesanales**”, Etapa 2, que forma parte del Programa Permanente en Pesca y Acuicultura (Ley de Pesca 20.657), el cual se realiza en virtud del convenio que se suscribe anualmente entre la Subsecretaría de Economía y Empresas de Menor Tamaño y el Instituto de Fomento Pesquero, siendo la contraparte científico técnica la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.



Subsecretaría  
de Economía y  
Empresas de  
Menor Tamaño



Subsecretaría  
de Pesca y  
Acuicultura



ISBN: 978-956-7470-06-8



9 789567 470068