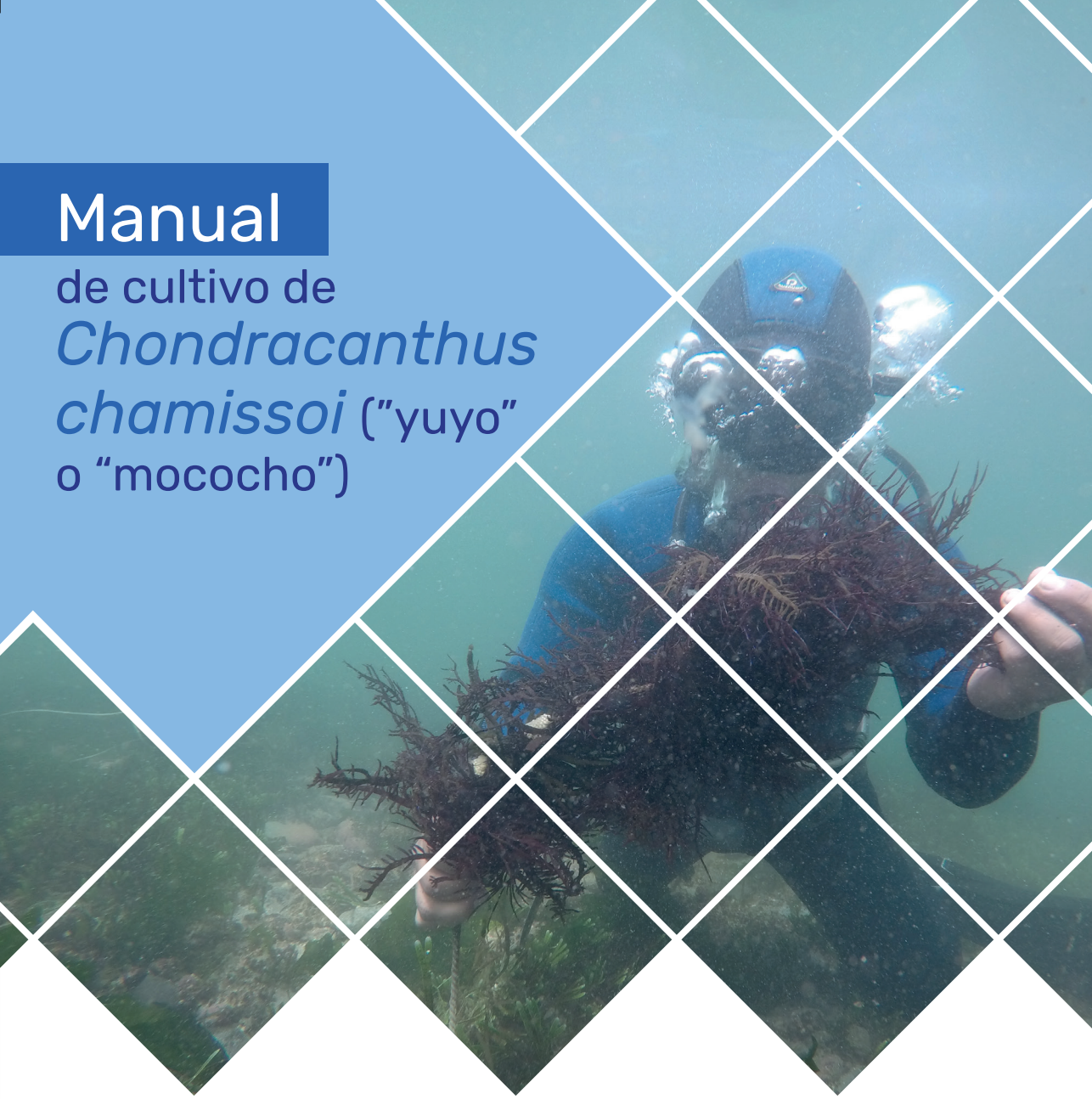
Manual de cultivo de *Chondracanthus chamissoi* ("yuyo" o "mococho")



Paul M. Baltazar Guerrero, Max S. Castañeda Franco
Wendy B. Oyola Salvador

PNIPA
PROGRAMA NACIONAL DE INNOVACIÓN EN PESCA Y ACUICULTURA
PRO innóvate
PERÚ Ministerio de la Producción
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR
FONDO EDITORIAL

Manual de cultivo de *Chondracanthus chamissoi* ("yuyo" o "mococho")

Paul M. Baltazar Guerrero, Max S. Castañeda Franco
Wendy B. Oyola Salvador

PNIPA
PROGRAMA NACIONAL DE INNOVACIÓN EN PESCA Y ACUICULTURA
PRO innóvate
PERÚ Ministerio de la Producción
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR
FONDO EDITORIAL

Manual de cultivo de *Chondracanthus chamissoi* ("yuyo" o "mococho")

Paul M. Baltazar Guerrero, Max S. Castañeda Franco
Wendy B. Oyola Salvador

PNIPA
PROGRAMA NACIONAL DE INNOVACIÓN EN PESCA Y ACUICULTURA
PRO innóvate
PERÚ Ministerio de la Producción
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR
FONDO EDITORIAL

Manual de cultivo de Chondracanthus chamissoi («yuyo» o «mococho»)

Carretera Antigua Panamericana Sur km 19, Villa El Salvador, Lima, Perú
Lima (51 1) 610 6400
www.cientifica.edu.pe
fondoeditorial@cientifica.edu.pe

Primera edición: Julio de 2023

Tiraje: 250 ejemplares
Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N.°: 2023-06791
ISBN: 978-612-4276-39-2

Autores:
Paul M. Baltazar Guerrero, Wendy B. Oyola Salvador y Max S. Castañeda Franco
Responsable del Fondo Editorial: Rubén Quiroz
Especialista editorial: Katherine Estrada
Corrección de textos: Juan Carlos Bondy
Diagramación: Carmen Huancachoque
Diseño de portada: Eder Aquino
Imágenes: Equipo de investigación DGIDI

Impreso en Designer Eye de Segundo Moreno Pacheco
Av. Argentina 144, stand 1281s sótano, Galeria Unicentro, Lima, Perú
950676564
eye.marketing@yahoo.com

Julio de 2023

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento al Programa Nacional de Innovación para la Competitividad y Productividad (ProInnóvate), y al Programa Nacional de Innovación en Pesca y Acuicultura (PNIPA), ambos adscritos al Ministerio de la Producción (Produce).

A la Universidad Cientifica del Sur, que han financiado diversos proyectos relacionados al cultivo del *Chondracanthus chamissoi* "yuyo", que permitieron la elaboración del presente manual. Asimismo, a las diversas comunidades pesqueras artesanales como la Cooperativa de Trabajadores Pesqueros Artesanales Algas Marinas (COTRAPALMAR), la Cooperativa de Trabajadores Artesanales La Nueva Generación Alto Puno, la Cooperativa de Trabajadores Pesqueros Artesanales Beatita De Humay (COTRAPABEH), la Cooperativa de Pescadores Artesanales Lobos del Mar (COPELOMAR), la Cooperativa de Pescadores Artesanales y Maricultores Biomar Paracas (BIOMAR) a Genesis Acuicultura y Negocios del Peru E.I.R.L, y a la Asociación Proyecto Mar de Marcona (APROMAR) quienes nos proporcionaron su experiencia e instalaciones marinas para realizar los diversos ensayos de cultivo.

PRÓLOGO

Uno de los grandes desafíos de la humanidad será el de asegurar alimentos suficientes y sanos, así como otros elementos básicos de vida, para la creciente población mundial, que llegará a 10 000 millones de habitantes hacia el fin del presente siglo. Debe lograrlo sin deteriorar más el medioambiente ni agotar los recursos naturales, y, además, enfrentando diversos desafíos, como el cambio climático y la necesidad de cuidar y racionalizar el uso del agua dulce.

Frente a ello, los océanos y sus recursos surgen como una de las opciones de la mayor proyección e interés, a fin de lograr su mejor aprovechamiento a través de la acuicultura, que se puede realizar de manera amplia y variada. De esta manera, se aumentará la provisión de alimentos y otros bienes que ya nos provee esta actividad, así como de otros servicios de inmenso impacto, como la reducción de la huella del carbono y el cuidado de la biodiversidad.

Los datos más recientemente disponibles, y que provienen de los organismos especializados (en particular la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO), nos indican que, en el mundo, la acuicultura ya ha superado a la captura de peces, mariscos y algas, y ha permitido duplicar el consumo de alimentos de origen acuático, al pasar de promedios mundiales de 20 kg/cápita/año. Estos alimentos, además, tienen los valiosos atributos de ser sanos y de alta calidad nutricional. Asimismo, son en gran parte destinados a las poblaciones de menores recursos e incrementan su demanda comercial a todo nivel en los mercados mundiales.

La FAO indica que, en 2020, la producción mundial por acuicultura de animales acuáticos se estimó en 87,5 millones de toneladas, mientras que la de algas fue de 35,1 millones de toneladas. Todo ello suma 122,6 millones de toneladas, con un valor de US$ 282 000 millones. De ellos, US$ 265 000 millones correspondieron a animales acuáticos, mientras que las algas significaron el equivalente a US$ 17 000 millones. Los principales países productores fueron China (58 %), Indonesia (27 %) y República de Corea (5 %).

A pesar de la gran importancia en la pesca extractiva en el Perú, nuestro país no es ajeno al crecimiento de la acuicultura, que hace que su consumo de productos acuáticos sea de los más altos de la región y aun del mundo. En efecto, el crecimiento promedio de la acuicultura peruana en los últimos 12 años (2009-2021) ha sido del 13,5 %, al alcanzar en 2021 las 144 000 toneladas de cosecha, con productos destinados al consumo local y a la exportación, por montos cercanos a los US$ 340 millones y un valor promedio de US$ 7,7 por kg exportado.

En particular, la acuicultura marina es reconocida como una opción de dar valor a las costas de los países ribereños a lo largo del planeta, con posibilidades de aumentar sus producciones de manera sostenible, competitiva y con componentes sociales de primera importancia, y de ese modo lograr la resiliencia de poblaciones que ven escasear sus medios de vida, en particular por sobreexplotación pesquera. Al respecto, hay que anotar que la costa peruana es reconocida como una de las más productivas en el mundo.

En este escenario, las macroalgas marinas tienen un enorme potencial en el abastecimiento de alimentos e insumos alimentarios, tanto para el consumo humano directo, como el indirecto (a través de crianzas animales diversas), sin requerir de aportes en nutrientes, agua dulce ni ocupar terrenos ni bosques. Asimismo, son de gran importancia en la farmacopea, nutracéuticos, cosmética, envases y fibras biodegradables, biocombustibles, materiales industriales, entre muchas otras aplicaciones.

Adicionalmente, las poblaciones de macroalgas, además del ya señalado rol de secuestrar carbono, dan soporte al incremento de las poblaciones acuáticas y el cuidado de la biodiversidad, al conservarla, restaurarla y mejorarla. Con estos beneficios, las condiciones medioambientales, económicas y sociales de las comunidades (en muchos casos compuestas por pescadores) obtienen nuevas oportunidades de vida y de desarrollo. En este contexto, la acuicultura de estas especies concurre directa e indirectamente a nueve Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), propuestos por las Naciones Unidas para su cumplimiento entre 2015 y 2030.

En los aspectos antes resumidos, se destaca el aporte del presente manual, que es el resultado de los diversos trabajos que se vienen realizando en la biotecnia de manejo de esta especie, por parte del Laboratorio de Investigación de Cultivos Marinos (LICMA) de la Universidad Científica del Sur, que contiene valiosa y muy aplicable información sobre la vida, ecología, cultivo, mercados, comercialización y usos de este importante recurso propio de las costas del Perú y Chile.

Asimismo, se incorpora una útil y explicativa sección sobre los procedimientos para el acceso y los permisos requeridos, a fin de desarrollar las diversas modalidades de acuicultura en el país.

Christian Berger Cebrelli

INTRODUCCIÓN

Las macroalgas son una pieza clave en la alimentación de algunas poblaciones en las regiones costeras y andinas del Perú. Son uno de los alimentos más nutritivos del planeta y resultan ideales para prevenir y combatir enfermedades.

El «yuyo» o «mococho» (*Chondracanthus chamissoi*) es una especie de la costa templada del Pacífico Sur, distribuida desde Paita, Perú (5º04' S, 81º05' W), hasta Chiloé, Chile (42º40' S, 73º55' W). Habita en las zonas rocosas del borde costero intermareal y submareal (Riofrío, 2003; Uribe *et al.*, 2020) y es considerada una de las macroalgas rojas más abundantes de la costa peruana. Ha sido utilizada como parte de la dieta alimenticia desde la época preínca por los pobladores de las zonas costeras y andinas; se consume mayormente en estado fresco (Acleto, 1986; Torres *et al.*, 2017).

El yuyo es altamente apreciado como alimento natural en nuestro país y alcanza altos precios en países asiáticos (Riofrio, 2003; Arbaiza *et al.*, 2018). Sin embargo, este mercado demanda un producto de alta calidad, el cual difícilmente puede ser obtenido a partir de poblaciones naturales (Castañeda *et al.*, 2018).

Además del consumo humano directo, *C. chamissoi* se destina para el uso industrial, con importancia en la extracción de ficocoloides como el carragenano, el cual posee una alta demanda en el mercado alimentario por ser utilizado como gelificante o espumante.

Sea cual fuere el uso destinado del alga, es importante que esta posea todas las características basadas en estándares de calidad internacional que muchas veces no pueden ser cumplidas por algas provenientes de la actividad extractiva

de praderas naturales. Por este motivo, la práctica de cultivos controlados en el mar, con semilla producida desde un laboratorio, genera mucho interés en los productores y personas involucradas en el negocio de las algas, así como en los investigadores, quienes día a día buscan mejorar los protocolos de manejo y producción, ya que la acuicultura parece ser la respuesta frente a los altos estándares que requiere el mercado internacional.

El presente manual es un consolidado de resultados respecto a las actividades de cultivo de macroalgas que realiza el Laboratorio de Investigación en Cultivos Marinos de la Universidad Científica del Sur, a través de diversos financiamientos otorgados por el Programa Nacional de Innovación para la Competitividad y Productividad (ProInnóvate) y el Programa Nacional de Innovación en Pesca y Acuicultura (PNIPA), ambos adscritos al Ministerio de la Producción (Produce).

CAPÍTULO 1
CONOCIENDO AL «YUYO» *(CHONDRACANTHUS CHAMISSOI)*

1.1. Biología

¿Qué es una macroalga?

Es una planta acuática con distintos tipos de pigmentos, con capacidad de absorber la energía de la luz solar para realizar la fotosíntesis. Las macroalgas presentan gran diversidad de formas y colores. Pueden tener reproducción asexual y sexual, con ciclos de vida diversos, y son de distribución cosmopolita.

Yuyo, mococho o cochayuyo es el nombre común del alga *Chondracanthus chamissoi* (C. Agardh), que se caracteriza por ser muy variable morfológicamente y presentar una coloración variada, entre verde, morado, rojo, marrón rojizo e incluso negro. Además, bajo el agua genera, según la intensidad lumínica, una tonalidad iridiscente, es decir, un brillo azul metálico (violáceo), que varía de acuerdo con el ángulo de visión. Muestra variaciones en la extensión y el grado de ramificación, debido principalmente a la estacionalidad, el hábitat y el movimiento del agua.

Figura 1. Iridiscencia en las frondas de yuyo

Chondracanthus chamissoi

Clase: Florideophyceae
Orden: Gigartinales
Familia: Gigartinaceae
Género: *Chondracanthus*

Figura 2. Frondas de yuyo

Composición

Tabla 1. Composición proximal de algas (mg/100 g de alga seca)

Humedad (g)	15.6	Vitamina C (m	<0.1	Cistina	5.0 ± 0.8
Cenizas (g)	24.7	Vitamina F (m	1,9	Isoleucina	409.9 ± 7.5
Proteinase (g)	12.6	Ac. Aspártico	872.7 ± 7.5	Leucina	706.7 ± 9.1
Grasa (g)	0.1	Ac. Glutámico	1232.6 ± 11.3	Fenilalanina	438.6 ± 6.4
Fibra dietitca total (g)	46.9	Serina	508.6 ± 6.1	Lisina	593.9 ± 8.2
Hidratos carbono disponibles (g)	0.1	Histidina	878.9 ± 9.0	Riboflavina (mg)	0,080
Energia (Kcal)	52	Glicina	258.5 ± 5.6	Saturados	40.19 ± 0.67
Sodio (mg)	6243	Treonina	298.7 ± 3.8	Monoinsaturados	47.07 ± 0.54
Calcio (mg)	362	Arginina	388.8 ± 4.3	Poliinsaturados	11.74 ± 0.25
Hierro (mg)	34	Alanina	522.7 ± 6.5	Poliinsaturados w6	5.97 ± 0.08
Zinc (mg)	1.7	Prolina	0.4 ± 0.0	Poliinsaturados w3	3.94 ± 0.07
Magnesio (mg)	818	Tirosina	208.6 ± 2.9	Razón w6 / w3	1,52
Fósforo (mg)	8.3	Valina	542.1 ± 7.6	Índice de poliinsaturac	3.94 ± 0.07
Vitamina A (mg)	0.2	Metionina	1071.0 ± 9.9		

Nota. Fuente: Cáceres, 2021; Ortiz, 2011.

Dependiendo de la zona donde se extraiga el yuyo, la composición proximal puede variar, según esté procesada como alga seca o húmeda. Esta alga presenta todos los aminoácidos esenciales y alta concentración de lípidos poliinsaturados.

1.2. Distribución y hábitat

C. chamissoi presenta un amplio rango latitudinal. Se distribuye en las costas del Perú y Chile (desde 5°S hasta 42°S) (figura 1). En el Perú, se ha reportado en los litorales de Piura (Talara y Paita), Lambayeque (Chérrepe), La Libertad (Huanchaco, Ascope, Chicama, Paiján y Pacasmayo), Áncash (Chimbote, Casma y Huarmey), Lima (Huacho, Ancón, San Bartolo y Pucusana), Callao (isla San Lorenzo), Ica (San Andrés, Paracas, Lagunillas, Mendieta, Laguna Grande, Marcona), Arequipa (La Huata, Islay), Moquegua (Ilo) y Tacna (Morro Sama). Por su parte, en Chile se encuentra desde la Región de Tarapacá (Iquique) hasta la Región de Los Lagos (Chiloé, localidad tipo) (Ramírez y Santelices, 1991; Silva *et al.*, 1996).

Figura 3. Distribución del yuyo.

A pesar de haber sido reconocida como endémica del Pacífico sureste, también se ha encontrado en Japón, Corea del Sur y Francia.

Habita en sustratos rocosos o calcáreos del intermareal inferior y submareal superior, tanto en bahías protegidas (4-6 m), como en zonas expuestas al oleaje hasta los 15 m de profundidad. Se adapta a un amplio rango de temperaturas (condición euritérmica), con un óptimo crecimiento entre 10 °C y 25 °C; este factor es el más importante para su desarrollo en ambientes naturales (Dawson *et al.*, 1964; Ramírez y Santelices, 1991; Arakaki, 2015; Uribe *et al.*, 2020).

¿Por qué debemos conocer los aspectos biológicos del yuyo?

Realizar el cultivo de cualquier recurso requiere conocer principalmente, características reproductivas (temporada, frecuencia y ciclo), distribución y hábitat, interacciones ambientales positivas o negativas, características morfológicas que permitan identificar a los individuos en campo, con la finalidad de establecer épocas del año adecuadas para cada fase del cultivo y mantener una producción constante y controlada, estimar costos y tiempo de producción, entre otros factores necesarios para realizar el cultivo exitoso de yuyo.

1.3. Ecología

El yuyo vive en amplia interacción con el medio en donde habita. Es así como algunos organismos pueden afectar su abundancia, de forma negativa o positiva. Es base de cadenas tróficas bentónicas, dado que diversas especies se alimentan de ella, como caracoles (por ejemplo, *Mitrella* spp., *Prisogaster niger*, *Tegula atra*),

crustáceos (Caprellidae, Amphipoda, *Acanthonyx petiverii*), erizos (*Arbacia spatuligera*, *Loxechinus albus*, *Tetrapygus niger*) y chitones (*Chiton granossus*, *Chiton cumingsii*); las cuales pueden remover los discos basales, las esporas recientemente asentadas y las plántulas o láminas de yuyo. Con algunas especies de caracoles también pueden presentar una interacción positiva, ya que estos se alimentan de las algas que crecen encima del yuyo (epífitos).

Los factores ambientales, tanto físicoquímicos (temperatura, intensidad lumínica, nutrientes, salinidad, corrientes, oleaje) como biológicos (herbivoría o competencia), pueden afectar los procesos reproductivos, el crecimiento y la supervivencia, la abundancia, entre otros. Por ejemplo, cuando la radiación solar es muy alta, puede causar la pérdida de color y hacer más frágiles a las láminas de yuyo, hecho que ocurre generalmente en época de verano. A su vez, la temperatura influye en las tasas de crecimiento; tal es así que existen reportes de láminas con un menor aumento de longitud a 10 °C que a 15 °C o 20 °C. De igual forma, las corrientes y los oleajes determinan la distribución espacial de las esporas o láminas de yuyo. El tipo de sustrato, sea este duro o blando, permite un mayor reclutamiento o que estas permanezcan más tiempo en un espacio. Un efecto combinado con oleajes y fondos blandos (arena) permitirá que en determinadas épocas del año las esporas o láminas puedan ser cubiertas en su totalidad y aparentemente desaparecer. Los efectos ambientales hay que verlos no individualmente sino en su conjunto, ya que uno o más factores pueden influir en el desarrollo de las poblaciones de yuyo en nuestras costas.

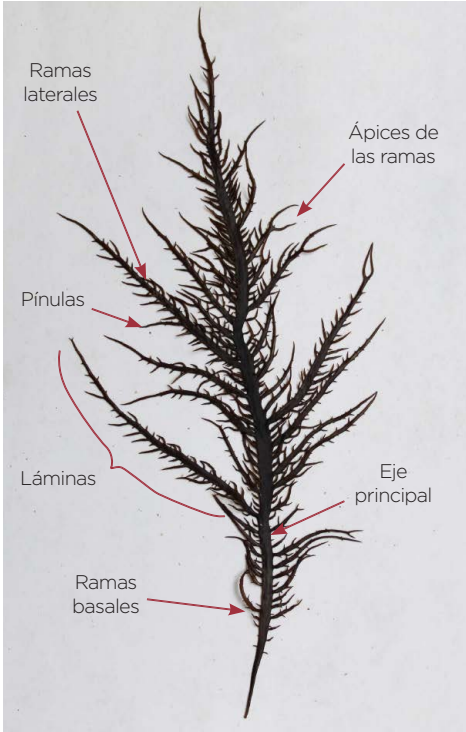
Figura 4. Epibiontes y fauna acompañante de yuyo

Figura 5. Interacciones de organismos asociados al yuyo

1.4. Morfología

Cada individuo de yuyo está compuesto por una o varias frondas membranosas y cartilaginosas, que crecen a partir de un disco basal o de un sistema basal complejo (formado por varios discos basales) (figura 6), que sirven como estructura de adhesión. Las frondas son aplanadas y angostas, y presentan muchas ramificaciones en sus márgenes. También pueden presentar pequeñas papilas centrales, y su tamaño puede variar hasta los 36 cm. En su base son cilíndricas y rápidamente se ensanchan, con un ancho variable de hasta 1 cm. Se pueden diferenciar dos tipos de láminas, laterales y basales, dependiendo del lugar donde crecen. Las pequeñas ramas cilíndricas, con una longitud de 1 a 2 cm que salen de las ramas laterales, son llamadas pínulas y es donde surgen las estructuras reproductivas cuando la fronda está madura.

Figura 6. Disco basal de yuyo



Identifica y conoce las partes del yuyo

Claves para reconocer al yuyo

- Láminas de consistencia membranosa
- Ramificada con un eje central
- Coloración violácea, rojiza o marrón
- Puede presentar pequeñas bolitas en los márgenes laterales de sus ramificaciones (dependiendo el ciclo en el que se encuentre)

Figura 7. Principales características morfológicas del yuyo

Un disco de fijación puede presentar frondas en diferentes estadios de desarrollo, incluyendo frondas en estado maduro, en fases carposporofíticas, tetrasporofíticas o vegetativas y otras jóvenes (sin estructuras reproductivas evidentes) o senescentes.

Existen a lo largo de la costa peruana diferentes especies de algas que son muy parecidas al yuyo. Recientes estudios moleculares (Arakaki *et al.*, 2021) han demostrado que la especie *Chondracanthus glomeratus*, conocida como «yuyo clavo», es considerada una forma o morfotipo de *C. chamissoi*, es decir, son la misma especie, aunque difieren en tamaño del eje principal, la terminación de las ramas laterales y la distribución de los cistocarpos.

Figura 8. *C. chamissoi* f. *glomeratus* creciendo en sustrato rocoso

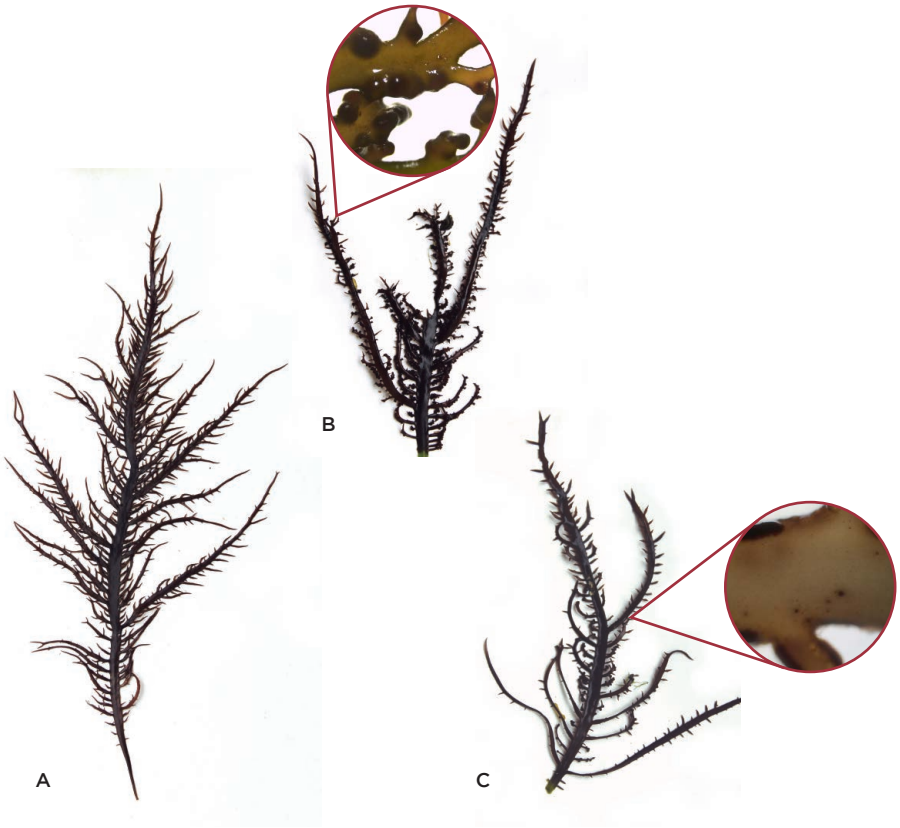


Figura 9. Diferentes fases del ciclo biológico del yuyo. A. Fase gametofitica (sin estructuras reproductivas). B. Fase carposporofítica, estructuras reproductivas (cistocarpos) en las láminas. C. Fase tetrasporofítica

1.5. Ciclo de vida y reproducción

Chondracanthus chamissoi es una especie con un ciclo de vida que presenta tres fases con alternancia de generaciones: fase tetraesporofítica, gametofítica y carpoesporofítica (figura 8), que son consideradas isomórficas. Es decir, cada fase del ciclo de vida es considerablemente similar con las otras (esporofitos y gametofitos erectos), pero con algunas diferencias morfológicas entre fases; son posibles de diferenciar macroscópicamente.

La fase tetraesporofítica se caracteriza por la presencia de los soros tetrasporangiales. Un soro puede producir miles de esporas haploides, llamadas tetrásporas, muy pequeñas y que no se ven a simple vista. Estas son liberadas, dispersadas y transportadas por el mar, listas para asentarse (adherirse), germinar y crecer para formar gametofitos juveniles. La siguiente fase es la fase gametofítica, donde se originan dos gametofitos, masculinos y femeninos. La madurez de los gametofitos conlleva a la reproducción sexual entre estos, que forman una nueva fase, la carpoesporofítica. Los carpoesporofitos corresponden a individuos diminutos que crecen en el interior de las láminas de gametofitos femeninos y forman estructuras esféricas pequeñas oscuras (llamados cistocarpos), de un tamaño de 1 a 2 mm de diámetro. Al igual que los tetrasporofitos, el carpoesporofito puede producir miles de esporas, pero diploides, que en este caso se llaman carpósporas y presentan el mismo proceso hasta adherirse sobre un sustrato adecuado, para crecer y formar tetraesporofitos, cerrando el ciclo.

La fase gametofítica se diferencia de las otras por presentar los extremos del eje principal y de las ramas notoriamente puntiagudos y libres de ramificación hasta cierta distancia (figura 7A). Además, las láminas masculinas son más pálidas y delgadas que las femeninas. En la etapa cistocárpica, las plantas femeninas contienen los cistocarpos, que son estructuras globosas, prominentes y abundantes, localizadas en los márgenes del eje principal o de las ramas secundarias, y en menor cantidad sobre la superficie de las láminas (figura 7B). Las láminas en fase tetrasporofítica madura se caracterizan por presentar manchas oscuras visibles como almohadillas de color marrón rojizo en los bordes de las pínulas (principalmente) y las láminas (figura 7C).

Las fases gametofíticas y tetrasporofíticas se encuentran presentes al mismo tiempo durante todo el año. *C. chamissoi* presenta una dominancia de la fase

tetrasporofítica y un marcado crecimiento estacional con respecto a la talla y abundancia.

Entonces, *C. chamissoi* presenta un tipo de reproducción sexual por esporas y otro tipo de reproducción denominada vegetativa. Esta última se da por formación de discos de fijación secundario sobre el sustrato con capacidad de regeneración de láminas. Este tipo de reproducción permite mantener al organismo luego de ser separado del individuo y generar nuevos rebrotes con las mismas características del individuo adherido; es decir, láminas esporofíticas darán origen a esporofitos y láminas gametofíticas, a gametofitos.

Los esporofitos son aquellas macroalgas cuya propagación o forma de perpetuación de la especie se lleva a cabo mediante la producción y liberación de esporas (fases carpoesporofítica y tetraesporofítica), mientras que los individuos gametofitos son aquellos que realizan la reproducción sexual cruzada a través de gametos para la producción de un nuevo individuo o fase (esporofíticas).

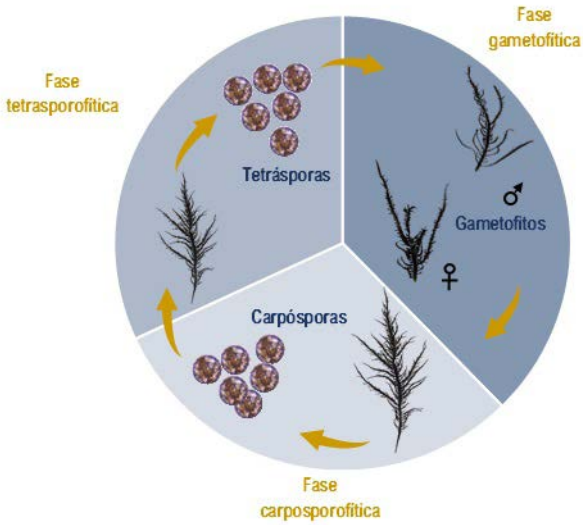


Figura 10. Ciclo de vida de *Chondracanthus chamissoi*. El paso de una fase a otra solo ocurre a través de la reproducción (por esporas o sexual)

Las láminas de yuyo presentan otro ciclo que puede ser descrito como etapa de crecimiento, maduración y liberación de esporas, y, finalmente, senescencia. La primera etapa ocurre cuando las láminas son juveniles, se caracterizan por ser pequeñas y presentan usualmente rápido crecimiento. Estas pueden ser origi-

nadas a partir de esporas, rebrotes desde discos basales antiguos, o ramas que crecen de restos de láminas.

La segunda etapa tiene un crecimiento más lento; es aquí donde se van diferenciando estructuras reproductivas. Este tipo de láminas abundan en primavera y verano, ya que, durante verano y otoño, ocurre la liberación de esporas. Por último, está la etapa de senescencia, que llega cuando las láminas ya han liberado sus estructuras reproductivas y se encuentran débiles, fragmentándose de forma natural, lo que puede ayudar a generar un tipo de reproducción por fijación secundaria de los fragmentos.

Figura 11. Abundancia estacional del yuyo, con una marcada dominancia en meses con temperaturas cálidas como primavera o verano.

1.6. Usos

Es una de las algas rojas más abundantes de nuestro país, y parte de la dieta alimenticia humana desde épocas preíncas, en zonas costeras y andinas. Se consume fresco, en ensaladas y cebiche (figura 11), seca o salpresa para diversos potajes, o añadida al final de la preparación de guisos. Como suplementos, las algas rojas se expenden en tiendas de productos naturales. También son exportadas como alimento en dos presentaciones, fresco y deshidratado, ambas para consumo humano y destinadas a países asiáticos.

Figura 12. Cebiche con yuyo

Figura 13. Extracción del yuyo

El interés comercial de *C. chamissoi* se debe a las propiedades de los ficocoloides, que varían en función de su ciclo de vida, como el λ-carragenano (45,3 %) en la fase tetrasporofítica y el k-carragenano (35,4-36,2 %) en su fase gametofítica.

En el país, esta alga es extraída principalmente por buzos artesanales y recolectores de orilla (figura 12). Se destina para el consumo humano directo, lo que contribuye a la seguridad alimentaria nacional.

Asimismo, es reconocido que *C. chamissoi* tiene propiedades biológicas y puede ser empleado como antiviral, antioxidante y anticancerígeno (tabla 2).

Tabla 2. Propiedades biológicas y su aplicación a partir de C. chamissoi

Característica	Descripción	Referencia
Antiviral	Efecto inhibitorio de crecimiento del dengue en células VERO-76	Mayta-Huataco et al. (2020)
Antioxidante	Alta actividad de eliminación de DPPH y buen desempeño en ensayos TRAP y FRAP en diferentes tipos de extractos	Miranda-Delgado et al. (2018)
	Presencia de aminoácidos tipo micosporinas y capacidad antioxidante aproximada de entre 16-22 %	Véliz et al. (2018)
	Presencia de actividad antioxidante en extracto proteico	Vásquez et al. (2019)
	Presencia de polifenoles y de considerable actividad antioxidante (por análisis ORAC)	Vilcanqui et al. (2021)
Anticancerígeno	Elevada actividad citotóxica en células de cáncer de colon y mama en extracto de diclorometano	Miranda-Delgado et al. (2018)
Estructural	Elaboración de nanocompuestos a partir de la carragenina	Rodríguez et al. (2016)

CAPÍTULO 2
CULTIVO

2.1. Materiales e infraestructura para el cultivo

Inicialmente, se debe tener en cuenta lo que se desea lograr (objetivos) y, según ello, planificar la capacidad técnica e infraestructura para mantener en condiciones óptimas el crecimiento y desarrollo del organismo a cultivar.

El cultivo de yuyo requiere dos fases, una fase de cultivo en tierra (producción de semilla) y otra en mar. Además, el uso de materiales e infraestructura dependerá del tipo de cultivo a realizar, sea mediante propagación vegetativa o por esporas (tetrásporas o carpósporas).

El cultivo mediante esporas (esporocultivo) requiere un sistema de levantamiento en tierra o *hatchery*, con la finalidad de obtener semillas que puedan adherirse a distintos tipos de sustratos para ser cultivados en mar. Para ello, es necesario contar con estanques de almacenamiento complementado con un sistema de aireación, iluminación (luz) y tratamiento de agua, cuyas dimensiones y capacidades dependerán del nivel productivo objetivo.

Por otro lado, el cultivo por reproducción vegetativa requiere el uso de menos materiales e infraestructura. Para este tipo de cultivo se necesitará, como mínimo, estanques de agua, los sustratos a inocular (que dependerán de la biomasa de algas fragmentadas inoculadas) y algunas herramientas y materiales de fácil acceso, dependiendo de la técnica a emplear.

A continuación, se señalan los principales materiales e infraestructura necesarios para desarrollar el cultivo de yuyo.

2.1.1. Toma de agua o sistema de bombeo

Obtener agua de mar para el sistema de cultivo puede ser posible mediante una toma de agua directamente del mar o un sistema que permita captar el agua de mar. Para ello, se debe contar con una bomba (figura 13), que succione el agua, y una manguera o tubería que traslade el agua hasta el sistema de cultivo. El diámetro de la tubería o manguera a usar dependerá de la capacidad del sistema de cultivo. Adicionalmente, se debe instalar un sistema de desagüe independiente al sistema de captación. Para estos efectos, hay que tener en cuenta las regulaciones vigentes.

Figura 14. Sistema de bombeo de agua y filtro

Como medida de seguridad siempre es necesario contar con el doble de materiales para realizar el cultivo, que nos permita dar mantenimiento a los equipos y tener un respaldo ante cualquier incidente, a fin de que el sistema de cultivo no se vea afectado.

Recuerda que, al instalar una toma de agua directa, se debe elegir muy bien el lugar donde instalará, pues el agua para los sistemas de cultivo debe cumplir ciertos requisitos para garantizar su estabilidad y que no esté contaminada. De esto también dependerá la ubicación del *hatchery*.

2.1.2. Sistema de tratamiento de agua

Tiene como objetivo mantener en condiciones óptimas el agua de mar para el cultivo, a fin de evitar la influencia de contaminantes en el desarrollo del cultivo. Esto se realiza mediante sistemas de filtración y esterilización.

Como parte del sistema de filtración se usan filtros, que dependerán del grado de partículas suspendidas en el agua de mar bombeada hacia el sistema de cultivo. Se pueden usar filtros mecánicos, de arena, para retener partículas suspendidas y filtros de bolsas de poliéster, para algunos llamados comúnmente «mangas», filtros hilados de polipropileno en serie ordenados de forma descendente para aguas con poca turbidez. Para el cultivo de yuyo, realizado en el LICMA, se usó filtro de arena, bolsas de poliéster y una batería de filtros hilados de polipropileno con un micraje descendente (2,5, 5 y 10 micras) (figura 14).

Figura 15. Filtros empleados en el *hatchery* del LICMA: A) arena, B) filtros de polipropileno y C) bolsas de poliéster

Otro tratamiento que se le puede brindar al agua de mar ya filtrada, a fin de evitar la competencia por el sustrato o nutrientes (con otros organismos dentro de los sistemas de cultivo, sobre todo durante las primeras etapas de desarrollo), es el uso de métodos de esterilización. Lámparas de luz ultravioleta (UV) son usadas como sistema de esterilización: el agua de mar filtrada pasa a través de la lámpara UV, donde es expuesta a la radiación ultravioleta, lo que destruye microorganismos como bacterias, protozoos, hongos y hasta virus, que ocasionan contaminación en los cultivos iniciales. Otro método menos costoso de esterilización puede ser el uso de una solución hipoclorito de sodio (cloración).

Para el mantenimiento de agua de mar sin necesidad de realizar un recambio de agua, se emplea la batería de filtros antes descrita. El agua circula impulsada por una bomba de recirculación, la cual se debe administrar a través de un tablero de control. La capacidad de esta bomba dependerá del volumen de los estanques a colocar.

2.1.3. Sistema de aireación

La capacidad y la potencia del sistema de aireación dependerán de los tipos y volúmenes de cultivo. Comúnmente, consta de una bomba de aireación (*blower*), que distribuye de forma uniforme el aire a cada unidad de cultivo. Las salidas de aire deben contar con válvulas que permitan regular el flujo a cada unidad de cultivo (figura 15).

Figura 16. *Blower* (arriba) y sistemas de distribución de la aireación con tubos de PVC perforados (abajo), en los distintos estanques de cultivo.

2.1.4. Sistema de iluminación

El sistema de iluminación debe estar distribuido de tal manera que cada unidad de cultivo obtenga una intensidad de luz y fotoperiodo lo más similar al medio natural. Para esto, en el LICMA se emplean tubos fluorescentes con 60 watts de potencia, que emiten luz directamente sobre los estanques de cultivo. La intensidad lumínica de 40 µmol fotón.m-2s-1 y un fotoperiodo de 16:08 (luz:oscuridad) han dado buenos resultados para el mantenimiento y germinación de frondas de *C. chamissoi*.

2.1.5. Estanques

Los estanques pueden variar de formas, dimensiones y materiales (PVC, fibra de vidrio, acrílico). La cantidad, dimensiones y material dependerán del volumen productivo deseado y el uso al que serán destinados. El conjunto de tinas o estanques debe contar con un sistema independiente de llenado y vaciado de agua de mar, un sistema de aireación constante, e iluminación independiente. Además, debe disponer de entradas y salidas para efluentes, gobernadas por válvulas, y un regulador de agua que controle el nivel de agua dentro de cada estanque.

El sistema cultivo dentro del LICMA está compuesto por seis estantes de madera. En cada estante se encuentran en forma consecutiva cuatro estanques rectangulares de 80 litros, cuyas dimensiones son de 80 × 50 × 20 cm. Esta estructura es empleada para la fijación de esporas en sustratos artificiales. Asimismo, cuenta con seis estanques de 3000 litros, cuyas dimensiones son de 3,0 × 1,2 × 0,9 m (figura 16) destinados al crecimiento de las plántulas. Cada estante mantiene un sistema de recirculación independiente.

Figura 17. Estanques de fibra de vidrio: A) esporulación y fijación de esporas, B) estanques de fibra de vidrio, crecimiento de plántulas

2.1.6. Instrumentos ópticos de observación

Este tipo de instrumentos ayudará a identificar todas las fases microscópicas del yuyo y el proceso de desarrollo de las plántulas sobre los sustratos, para determinar el momento en que las plántulas deban ser sembradas en el mar. El microscopio estereoscópico es un instrumento que nos permite observar un objeto en tres dimensiones, manipular el material observado y visualizar este a diferentes aumentos. Por su parte, el microscopio compuesto permite observar especímenes invisibles al ojo humano y con una gran resolución (figura 17).

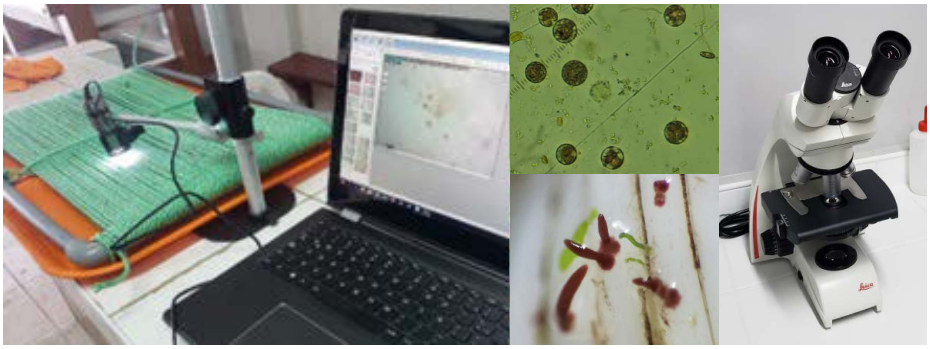


Figura 18. Estereoscópico y microscopio

2.1.7. Almacén

Área para el almacenamiento de materiales o equipamientos necesarios para el proceso de cultivo. Entre las principales funciones que cumple esta área, destacan la recepción de los insumos, que deben ser dispuestos en estanterías de fácil ubicación y conservación. Se requiere un registro de ingreso y salida de materiales o equipos de este recinto.

2.1.8. Embarcación

Por último, para realizar la siembra de yuyo en mar y los monitoreos, se necesita disponer de una embarcación. De esta forma, se pueden efectuar los desplazamientos en el mar y realizar las siembras y los controles de los principales parámetros fisicoquímicos y biológicos del cultivo en el medio.

Tabla 3. Características principales de las infraestructuras de cultivo y los equipos empleados para la producción de semilla de *C. chamissoi*

Infraestructura de cultivo	Estanquerías	Material: fibra de vidrio Capacidad: 2500 a 3000 litros
	Sistema de bombeo y recirculación	Bomba de toma (> 1,5 HP) Bomba de recirculación (< 1,5 HP)
	Sistema de filtración	Filtro de arena (50 µm) Batería de filtro de cartucho (10, 05 y 01 µm)
	Sistema de aireación	*Blower* de 1,5 a 2,0 HP
	Sistema de iluminación	Luz fría por fluorescentes. Intensidad: 30-40 µmol fotón.$m^{-2}s^{-1}$ Fotoperiodo: 16:08 (luz:oscuridad)
Equipos de seguimiento	Equipos de microscopia	Microscopio óptico (10x a 40x) Estereoscopio (4x a 10x)
	Equipos para monitoreo	Multiparámetro de campo (temperatura, pH, oxígeno disuelto, salinidad) Medidor de nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio)

2.2. Principales factores que influyen en el cultivo de yuyo

Diversos factores abióticos afectan el crecimiento y la reproducción de las algas. Entre ellos, se encuentran: luz, temperatura, nutrientes, turbulencia, oxígeno disuelto, pH, salinidad, movimiento de agua, profundidad, corrientes y tipo de fondo. De estos factores dependerá el sistema de cultivo más adecuado a implementar.

La temperatura afecta las reacciones químicas y el metabolismo del alga, al generar una alteración en la fotosíntesis, la respiración, la inducción a la esporulación, la germinación, el crecimiento y el desarrollo. El rango de temperaturas óptimas dentro del cual se desarrollan las macroalgas puede variar según el linaje, la especie y la etapa del ciclo de vida. Existe un efecto de la estacionalidad sobre la capacidad reproductiva de *C. chamissoi*. Así, durante las estaciones con temperaturas altas se propicia la abundancia de gametofitos, mientras que en las bajas se favorece la dominancia de esporofitos.

Las macroalgas muestran diferentes respuestas fotosintéticas a la intensidad de luz. Ciertas algas están adaptadas a luz tenue (sombra) y otras requieren de una alta radiación (sol). El fotoperiodo (cantidad de horas luz) y la irradiación

(cantidad de energía sobre una superficie) influyen sobre los parámetros de crecimiento y la densidad celular.

Los nutrientes (macronutrientes y micronutrientes) son esenciales en el metabolismo de las algas. Algunos nutrientes como el carbono, el nitrógeno y el potasio pueden llegar a ser un limitante e influir durante procesos de germinación; en particular, los dos últimos.

El movimiento del agua influye en la absorción de nutrientes, el intercambio de gases, la distribución de la luz, el asentamiento, la fijación, la supervivencia y la germinación de las esporas. El pH lo hace en el equilibrio químico del agua de mar. La salinidad, por su lado, afecta la presión osmótica, esto es, el paso de agua a través de las membranas de la célula de las plantas, el movimiento activo de iones en la membrana, entre otras funciones.

La liberación de esporas y su posterior asentamiento está ligada a otros factores, que se propician realizando cambios hacia las condiciones favorables en las que crece el alga. Cualquier variación de los parámetros ambientales antes mencionados produce un nivel de estrés biológico que se ve reflejado, finalmente, en la liberación de esporas al recuperar las condiciones óptimas de supervivencia. Entre los principales factores de estrés, se encuentran la desecación y los cambios bruscos de temperatura, salinidad, pH y en la concentración de nutrientes (Castañeda *et al.*, 2018; Arbaiza *et al.*, 2019).

2.3. Colecta, transporte y selección de algas para el cultivo

Realizar la colecta de algas requiere conocer las principales praderas naturales de yuyo e identificar las fases reproductivas, para seleccionar la pradera con mayor biomasa y alta capacidad reproductiva. De esta se obtendrán individuos que permitan generar el cultivo deseado, sin causar efectos adversos. La cantidad y la fase reproductiva de yuyo colectado dependerán del tipo de cultivo a realizar y la capacidad instalada.

Las personas encargadas de realizar la colecta, mediante buceo o extracción en orilla, deben estar calificadas y ser capaces de identificar la fase reproductiva que se desea colectar, de forma manual. La colecta debe ser realizada cuidadosamente, seleccionando individuos completos, con buen aspecto, textura, con

poca o nula presencia de epífitas. Igualmente, se debe evitar individuos varados, flotantes, o que hayan estado expuestos, ya que pueden encontrarse estresados y con una menor probabilidad de generar cultivos saludables.

Una vez colectado el material biológico, este debe ser almacenado en contenedores térmicos aislados, a fin de mantener las condiciones de humedad y temperatura, evitando la incidencia de rayos solares, para ser transportados al lugar donde se realizarán las primeras etapas de cultivo.

Es importante no transportar los individuos con agua, ya que esto puede generar una liberación de esporas o daño del material reproductivo. Tampoco se debe realizar el traslado de algas expuestas al sol por mucho periodo de tiempo.

Reconocer las algas en sus diferentes estadios reproductivos puede resultar difícil en campo. Por ello, es necesaria una reselección de individuos.

La selección de individuos carposporofíticos maduros se realiza de manera visual (figura 18). Las láminas femeninas se pueden reconocer por el tamaño de los cistocarpos, mientras que las láminas masculinas no son posibles de reconocer. Por motivos prácticos, se consideran individuos masculinos las algas sin estructura reproductiva evidente.

Los individuos tetrasporofíticos son un poco más difíciles de reconocer de forma visual. Esta tarea debe hacerse a contraluz, con la finalidad de observar diferencias en la coloración rojiza de las láminas.

Figura 19. Selección de carposporofíticos maduros

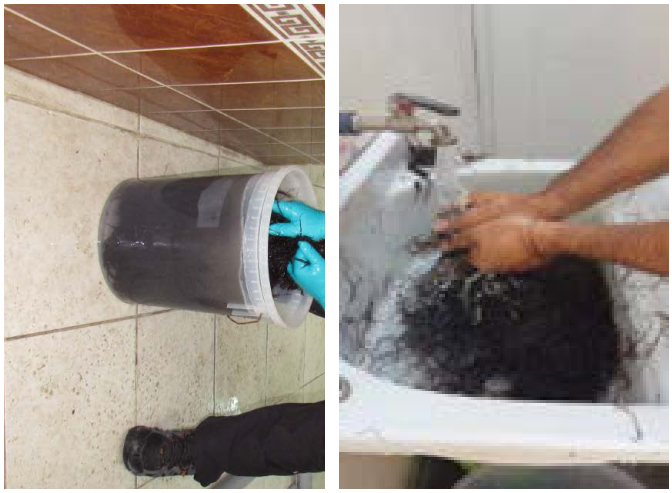


Figura 20. Limpieza de algas reproductoras

Al finalizar la selección de individuos, estos deben pasar por un proceso de limpieza, a fin de retirar cualquier material adherido, como epibiontes o fauna asociada. Se debe lavar las algas con una solución de agua dulce e hipoclorito de sodio (1 mL L-1), y posteriormente enjuagarlas con agua de mar (figura 19).

Las algas seleccionadas y limpias se mantienen en estanques con aireación constante y recambios de agua de mar cada siete días.

2.4. Cultivo en laboratorio

2.4.1. Cultivo vía esporas

El cultivo mediante esporas (tetrásporas o carpósporas), también denominado esporocultivo, requiere una biomasa reducida de individuos fértiles para generar un cultivo a gran escala, debido al elevado potencial reproductivo con el que cuenta el yuyo (Arbaiza, 2019), es decir, una alta cantidad de esporas por individuo, lo que produce una alta variabilidad genética en las plántulas obtenidas. Sin embargo, para la generación de semilla el tiempo de cuidado y el mantenimiento en *hatchery* es mayor.

Las principales etapas de cultivo del yuyo son la inducción a la esporulación, la inoculación en sustratos y el desarrollo de plántulas, para posteriormente ser sembradas en el mar (figura 20).

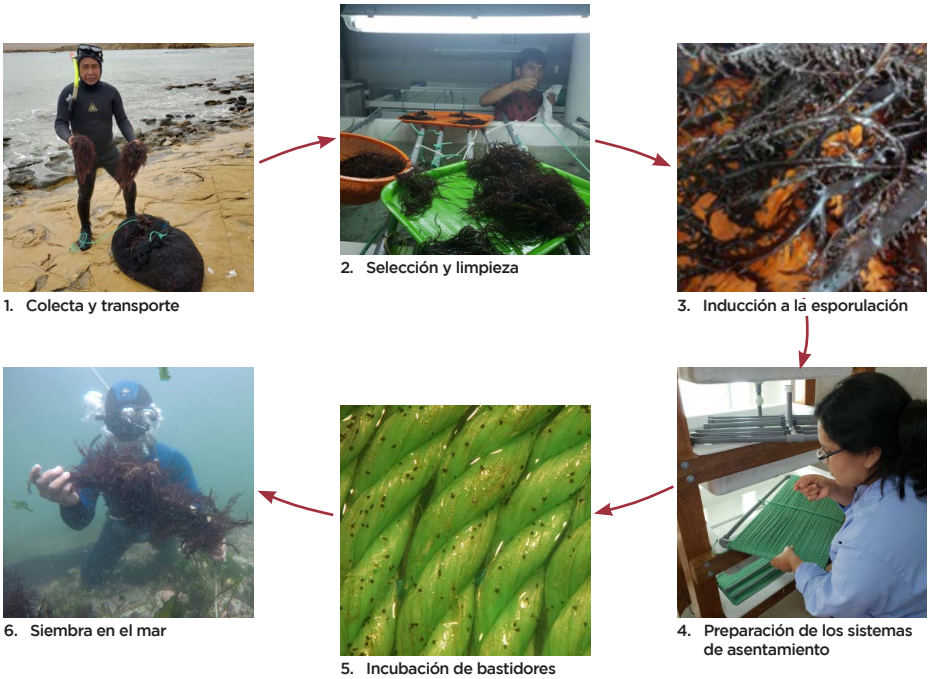


Figura 21. Etapas de cultivo mediante esporas (esporocultivo)

A. Inducción a la esporulación

La inducción a la esporulación mediante estrés por desecación ha mostrado ser el método más efectivo para la obtención de esporas.

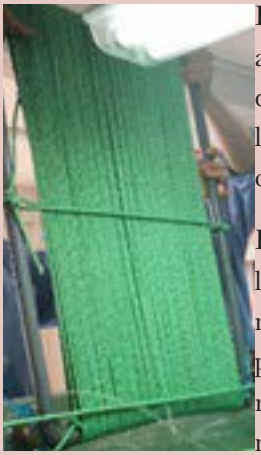
Para esta técnica, se coloca el alga en paños de malla, que permitan escurrir y secar las algas a temperatura ambiente, bajo sombra (figura 21) y por un periodo de cinco horas. Luego, son colocadas nuevamente en agua de mar filtrada y esterilizada a condiciones de temperatura entre 18 y 22 °C. El proceso de obtener esporas y luego germinarlas puede seguir dos vías distintas: inocular las esporas directamente sobre cuerdas o mantenerlas en suspensión. Este último proceso es conocido también como solución de esporas. La elección de un método u otro dependerá de los materiales e infraestructura disponible.

Figura 22. Inducción a la esporulación

B. Precultivo (inoculación y asentamiento de carpósporas) Fijación de esporas directamente en bastidores

La esporulación directa sobre bastidores solo requiere el traslado de las algas —luego de ser estresadas—, a tinas de esporulación, en donde los carposporangios liberaran las carpósporas. Estas pueden asentarse sobre los bastidores (figura 22), que deben estar hechos con cuerdas de rafia, ya que sobre este material se han demostrado las mejores tasas de asentamiento.

Figura 23. Esporas sobre cuerdas



Los bastidores son estructuras rectangulares armadas con tubos de PVC de media pulgada, de 33 cm de largo y 23 cm de ancho, sobre los que se enrollaron cuerdas (sustratos artificiales).

Estas estructuras son colocadas, previamente lavadas, en tanques de cultivo con agua de mar durante un periodo de cuatro semanas, para inducir la formación de biofilms bacterianos y favorecer el reclutamiento y asentamiento de las carpósporas.

Este procedimiento dura aproximadamente tres días y debe realizarse por ambas caras de los bastidores. Las condiciones fisicoquímicas (oxígeno disuelto, temperatura, pH) de los estanques donde se realice la esporulación deben ser monitoreadas constantemente tomando en cuenta cualquier anomalía.

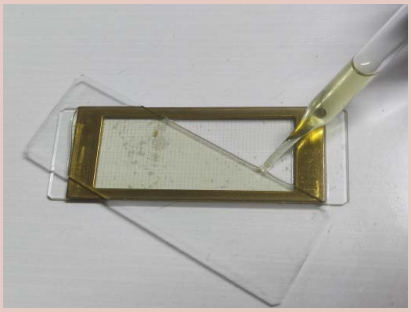
El desarrollo de discos de fijación de las esporas liberadas dentro de los sistemas de cultivo requiere mantener ciertas condiciones ambientales durante las primeras horas en los sistemas de cultivo, para asegurar el éxito del asentamiento. Entre estas condiciones se encuentran: quitar la aireación por un periodo no mayor a 36 horas, no realizar recambio de agua y mantener una iluminación natural durante un periodo no menor a 48 horas.

Obtención de esporas en suspensión (figura 23)

La obtención de una solución de esporas requiere el uso de matraces con un litro de agua de mar, en donde deben colocarse alrededor de 100 g de alga, con abundante aireación, durante dos horas, para que ocurra la liberación de esporas. Al finalizar el tiempo indicado, se debe realizar el conteo de las esporas con una cámara Sedgewick Rafter en un microscopio y así obtener la densidad de esporas por litro. Con este método se debería contar con una densidad aproximada de 25 000 esporas por mililitro de agua.

Una vez obtenida la solución de carpósporas, estas deben ser inoculadas en bastidores y seguir la misma secuencia detallada de forma anterior, en la otra metodología de inoculación de esporas.

Figura 24. Suspensión de esporas



Se emplea la Sedgewick-Rafter para el conteo de esporas de *C. chamissoi*. Esta cámara cubierta por un cubreobjetos tiene una capacidad de 1 mL, y es graduada en la base con 1000 cuadraditos de 1 mm2. Para determinar la cantidad exacta se debe contar al menos la cantidad mínima de 10 cuadraditos. Se obtiene un promedio, se extrapola y se multiplica ese resultado por un factor de 1000. De este modo se obtiene el número de esporas promedio por mililitro.

Desarrollo y crecimiento de esporas

Los bastidores deben ser mantenidos sumergidos en los estanques de 40 L de capacidad, con agua de mar filtrada a 0,22 µm, iluminación y aireación constante. El recambio de agua debe ser semanal, con adición de la fuente de nutriente Bayfolan®, en una proporción de 0,2 mL L^{-1}. El cultivo debe mantener un fotoperiodo 12:12 (luz: oscuridad), temperatura variable entre 16 y 18 °C, salinidad entre 34 y 36 ups, pH a 7 u 8, oxígeno disuelto de 7 ± 1 mg L^{-1} y una irradiancia de 10 µmol fotón.$m^{-2}s^{-1}$. Asimismo, hay que aplicar estrategias de cultivo que eviten la proliferación de epífitas durante el proceso experimental. Este cultivo debe ser mantenido por alrededor de dos meses, hasta que las plántulas alcancen un tamaño de 2 a 6 mm y estén listas para ser trasladadas al mar.

Figura 25. Microtalos de yuyo sobre cuerdas

Figura 26. Selección del yuyo vegetativo

2.4.2. Cultivo por propagación vegetativa

Este tipo de cultivo necesita de individuos sin estructuras reproductivas visibles (fases cistocárpica y tetraspórica), y se basa en la capacidad de formar discos de fijación secundaria a partir de procesos de propagación vegetativa, por parte de las láminas del yuyo.

La formación de discos de fijación secundaria sobre diferentes tipos de sustratos, como conchas de bivalvos y cuerdas de polipropileno, ha sido estudiada con el fin de propiciar la masificación del cultivo del yuyo en tiempos considerablemente menores, respecto del cultivo vía esporas.

Para iniciar con el cultivo vegetativo, es primordial reconocer praderas con abundante material vegetal, debido a que el proceso extractivo debe ser selectivo, es decir, se deben priorizar los individuos de yuyo que no presenten estructuras reproductivas evidentes, dado que estudios previos demostraron su mayor rendimiento, en comparación con la fase cistocárpica o la fase tetraspórica (Sáez et al., 2018; Zapata-Rojas *et al.*, 2020; Oyarzo *et al.*, 2021).

Una vez en el laboratorio, el material vegetal pasa por un proceso de estricta limpieza y desinfección, para eliminar epífitos y suciedades que pueda tener sobre toda su superficie.

Este proceso consiste en cuatro etapas que se detallan a continuación:

1. **Limpieza mecánica:** el yuyo es puesto sobre una malla de red de pesca menuda (anchovetera), para ser frotado vigorosamente y remover epífitos (mayormente pequeños crustáceos y moluscos, y suciedad como tierra, etc.).

2. **Desinfección en agua dulce clorada:** luego de la limpieza mecánica, el yuyo debe ser lavado con agua dulce y frotado moderadamente para remover impurezas y restos que pudiesen quedar sobre la superficie del alga. El agua dulce debe contener entre 5 a 6 gotas de cloro por cada 20 litros de agua. Este proceso no debe exceder de un minuto, para evitar el deterioro del material vegetal.

Figura 27. Limpieza mecánica del yuyo

3. **Enjuague y limpieza manual:** posteriormente, el yuyo debe ser enjuagado con abundante agua de mar, para remover el agua dulce y lo que se limpió manualmente a la hora de retirar organismos epífitos (algas filamentosas, poliquetos, crustáceos, huevos, etc.), que puedan haberse quedado sobre la superficie del alga.

4. **Enjuague final y disposición:** finalmente, el yuyo debe ser enjuagado con agua de mar para eliminar cualquier resto de suciedad o epífitos, y debe pasar inmediatamente al proceso de selección, para ser puesto en las unidades de cultivo.

Una vez terminado el proceso de limpieza, se procede a seleccionar individuos de yuyo en condiciones adecuadas (individuos jóvenes, con abundantes ramas secundarias o pínulas, sin deterioro aparente ni coloración verdosa), para ser inoculados en las unidades de cultivo (figura 27).

Una vez obtenido el material vegetativo de yuyo, es mantenido en estanques con agua de mar filtrada y esterilizada con rayos ultravioleta (UV). Durante el proceso de mantenimiento, los individuos de yuyo son sometidos a fraccionamiento, es decir, son cortados en dos a cuatro partes, según el tamaño del individuo, para que se lleven a cabo de manera natural los procesos de cicatrización (figura 28). Este último paso es fundamental, ya que, debido a diversos factores fisiológicos los procesos de cicatrización en el yuyo también propician la generación de pínulas, que se adherirán posteriormente a las estructuras de cultivo que procedamos a emplear.

Figura 28. Individuos de *C. chamissoi* en sus distintas fases: A-B) individuos cistocárpicos, C-D) individuos en estado vegetativo, E) individuo tetraspórico

Figura 29. Procesos de cicatrización del yuyo y posterior formación de pínnulas

Para inocular el material vegetal de *C. chamissoi* en las unidades de cultivo de sustrato artificial, se pueden emplear cuerdas, cabos, malla frutícola y valvas de concha de abanico.

Lo que se busca es otorgar áreas de fijación a las pínnulas formadas durante el mantenimiento de la biomasa vegetal, por lo que, al seleccionar el material de inoculación, se debe contar con la mayor cantidad de área de adhesión posible.

2.4.3. Elaboración de unidades de cultivo vegetativo de yuyo

Dos técnicas han sido probadas con éxito para el cultivo vegetativo de yuyo en el LICMA de la Universidad Científica del Sur, con altos valores de productividad: encordado y malla frutícola.

Técnica del encordado

Los inóculos vegetativos de yuyo son colocados sobre una canaleta de tubo de PVC cortado de manera horizontal que reposa sobre dos soportes, uno fijo y otro movible. Se emplea el soporte fijo para, a través de un gancho, sujetar dos líneas de cuerda, atadas en los extremos, de modo que queda una dentro de la tubería y la otra fuera. Las algas listas para inocular son colocadas dentro del tubo sobre la primera línea de cuerda, de modo que es cubierta por estas para finalmente ser cubiertas por la segunda línea. Una vez armado este proceso, se emplea un rotor, de modo que las algas que quedan abrazadas por las cuerdas superior e inferior pasan a enrollarse hasta cierto punto. Al ser retiradas del primer gancho, se genera una torsión negativa al sujetar las algas a las líneas, lo suficientemente para que se adhieran sin que se suelten.

La técnica del encordado ha sido patentada por la Universidad Cientifica del Sur con Resolucion N.º 002820-2022/DIN-INDECOPI, como patente de modelo de utilidad denominada «Sstema de encordado de algas», C.I.P.8 A01G 33/02, por un plazo de 10 años.

Figura 30. Técnica del encorde con yuyo: A) tubería de PVC con dos líneas, donde se le coloca el alga, B) accionar del rotor para sujeción de las algas, y C) unidad de cultivo resultante final

Técnica de la malla frutícola

Consiste en colocar los inóculos vegetativos de yuyo dentro de una malla cilíndrica de aproximadamente 1 pulgada de diámetro, que comúnmente es empleada para el transporte y comercialización de frutas. La característica principal de la malla es ser elástica y con una cocada no mayor a 5 mm, de modo que los inóculos se mantienen dentro sin ser presionados, y se asegura la corriente de agua.

Para colocar el alga dentro de la malla, esta se deposita de forma invertida, empleando para ello un tubo de ½ pulgada. Una vez este en posición, se colocan los inóculos de yuyo y se procede a retirar lentamente la malla de la tubería, de forma que el alga quede dentro del cilindro. Este proceso debe replicarse tantas veces como sea posible, para que la malla quede con inóculo a todo lo largo.

La cantidad de inóculo empleado tanto en este sistema como el anterior no debe superar por recomendación los 60 g por metro lineal de unidad de cultivo.

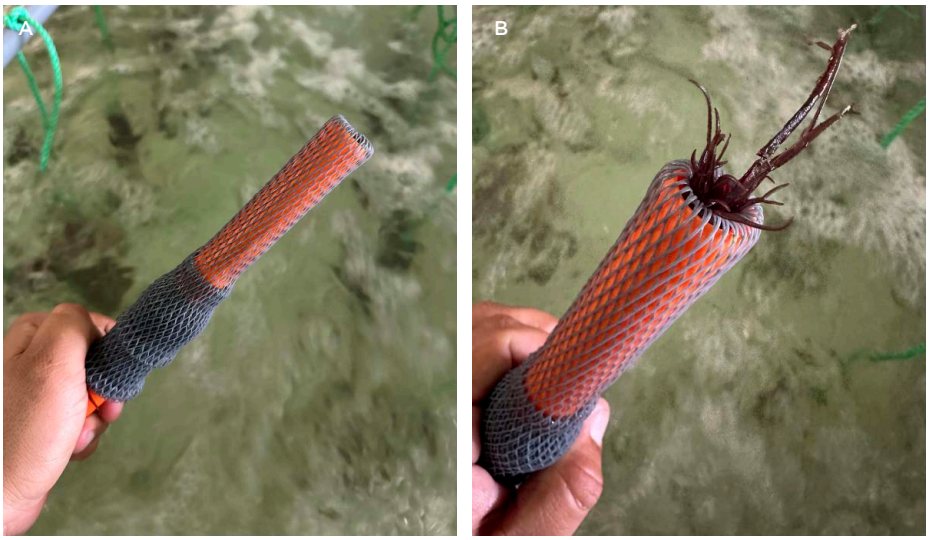


Figura 31. Técnica de la malla frutícola: A) forma de colocar la malla en inversa empleando un tubo de PVC, B) inóculo del alga siendo introducido en la malla

Una vez formados los inóculos o sistemas de cultivo, estos deben ser trasladados al mar para su siembra, según el sistema de cultivo seleccionado.

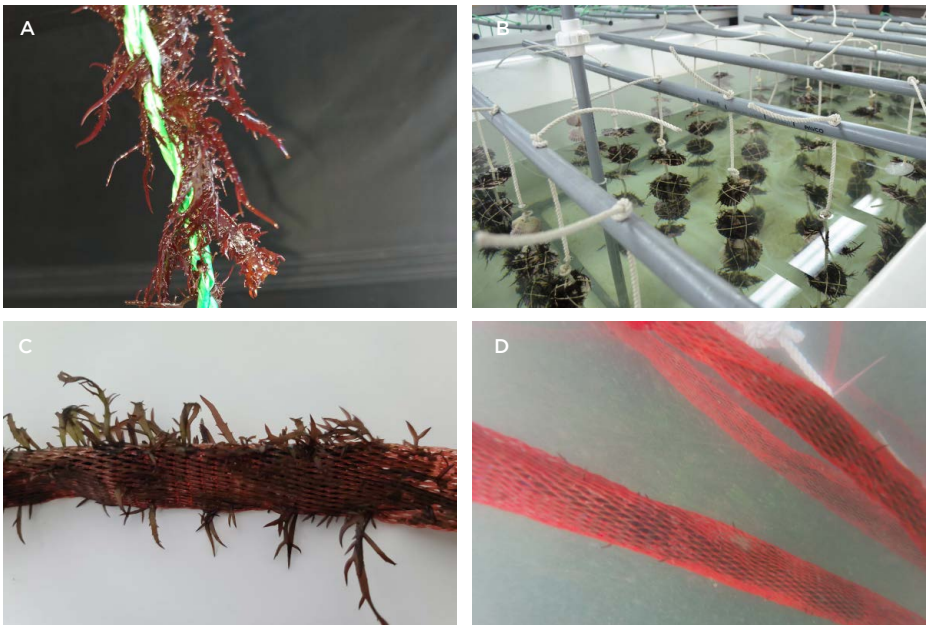


Figura 32. Unidades de cultivo: A) técnica del encordado, B) valvas de concha, y C-D) malla frutícola

2.4.4. Solución de problemas en la producción de semilla de yuyo en laboratorio

Durante los distintos tipos de cultivo de *C. chamissoi* en laboratorio, a pesar de contar con equipos de filtración mecánica, se pueden encontrar intromisión de otras especies de macro y microalgas que vienen adheridas a la superficie del alga y que soportan los procesos de limpieza, o que incluso están insertadas en la corteza del mismo yuyo (Bulboa et al., 2007, Montoya *et al.*, 2020).

En cuanto a las microalgas, las más comunes encontradas en el desarrollo de esporofitos germinantes de *C. chamissoi* son las diatomeas, que pueden ser controladas con una solución al 0,5 % de dióxido de germanio. Sin embargo, no representan mayor inconveniente una vez que las esporas se han asentado y germinado exitosamente. Para tal caso, si se detecta la presencia de diatomeas u otras microalgas durante los primeros siete días de cultivo, cuando se realiza la germinación y el asentamiento, se procede a reducir la intensidad lumínica a 10 µmol fotón.$m^{-2}s^{-1}$.

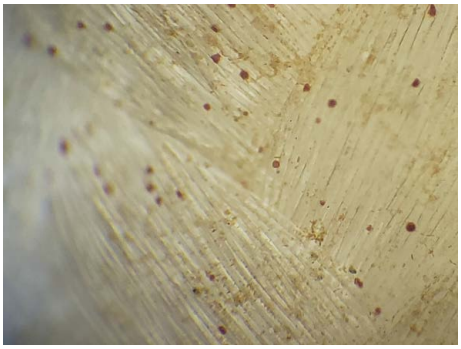


Figura 33. Diatomeas creciendo alrededor de esporofitos germinantes de C. chamissoi

En el caso de las macroalgas encontradas, existen algunas especies de algas filamentosas que se desarrollan al interior de *C. chamissoi* (algas endófitas), o incluso algunas especies de algas verdes (*Ulva* sp. & *Enteromorpha* sp.) presentan zooides inmersos sobre la corteza de los cistocarpos de yuyo, los cuales, al liberar las esporas, son colocados en el mismo medio de cultivo de *C. chamissoi* y pueden germinar de forma paralela al yuyo. Ante estas situaciones, es recomendable retirarlos de forma mecánica empleando pinzas finas, en caso de que la cantidad

sea menor y manejable, debido a que pueden considerarse competidores en la absorción de nutrientes. Pero si existe presencia de una cantidad considerablemente alta de epifitos ajenos al cultivo, lo recomendable es disminuir la intensidad lumínica (10 µmol fotón.$m^{-2}s^{-1}$) y reducir la concentración de nutriente foliar empleado en un 50 %.

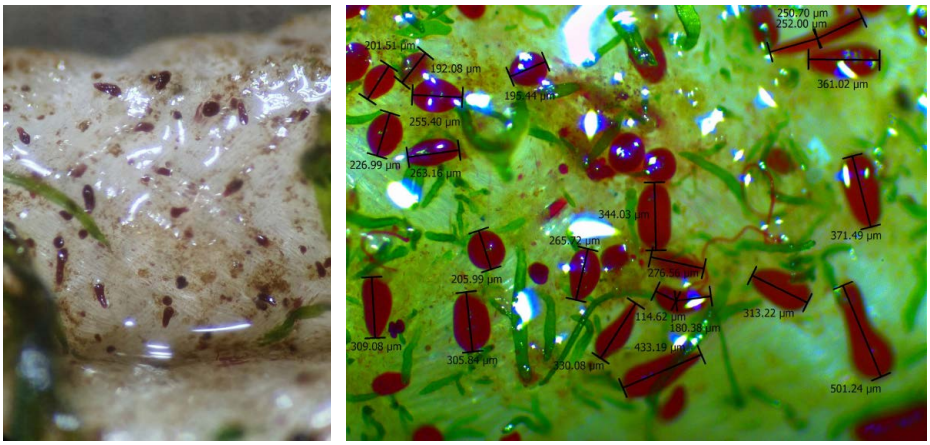


Figura 34. Esporofitos germinantes de *C. chamissoi*. Izquierda: ejemplares de *Ulva* sp. en pocas cantidades creciendo de forma paralela al yuyo. Derecha: abundantes ejemplares de *Enteromorpha* sp. en cultivo de yuyo.

2.5. Cultivo en el mar

2.5.1. Instalaciones en el mar

Las instalaciones en mar comprenden las infraestructuras instaladas para el cultivo final de las macroalgas. Para esto, se deben considerar las características oceanográficas como la batimetría, la presencia y el tipo de sedimentos, la morfología costera, las corrientes, el oleaje, las características fisicoquímicas del agua (temperatura, oxígeno disuelto, pH, etc.), las características biológicas (presencia de especies competidoras por el sustrato, nivel de epifitismo, etc.) y las características antrópicas (actividades desarrolladas en sus inmediaciones, riesgo de contaminación, flujo de embarcaciones, riesgo de robo, aceptación de la comunidad, posibles complementariedades y sinergia, etc.). Asimismo, se deben obtener los permisos necesarios por parte de las autoridades competentes.

2.5.2. Identificación de la zona de siembra

Para realizar el cultivo en mar, se debe reconocer un área adecuada mediante buceos exploratorios, a fin de determinar características físicas, biológicas y químicas que puedan tener efectos favorables o desfavorables de realizar la siembra en esa área, como, por ejemplo, profundidad, flora y fauna. El área debe ser georreferenciada y marcada con boyas, para ser identificada con facilidad. Es importante realizar esta actividad antes de organizar el traslado de organismos para su siembra.

2.5.3. Preparación de unidades de cultivo

Las cuerdas seleccionadas con discos y microtalos notorios de longitud superior a 1 mm son cuidadosamente cortadas en secciones de 1,5 m y mantenidas en estanques con agua de mar y abundante aireación, hasta el momento en que se colocan en cajas isotérmicas para su traslado, a fin de otorgar una humedad constante y una temperatura de 12 a 15 °C. Posteriormente, las cajas isotérmicas serán embaladas y marcadas según la cantidad de cuerdas que contuviesen. De igual manera, las unidades de cultivo inoculadas con organismos vegetativos deben ser preparadas para su correcto traslado al mar.

Figura 35. Cuerdas con microtalos de *C. chamissoi* y embalaje de cuerdas listas para su traslado en cajas de tecnopor

2.5.4. Sistemas de cultivo

Existen distintos sistemas de cultivo: de fondo, suspendido y semisuspendido. La selección del sistema dependerá de las características físicas del área a cultivar (profundidad, tipo de sustrato, corrientes, productividad, entre otros). Los sistemas de cultivo deben contar con boyas, que ayuden a identificar el cultivo, y una estructura de anclaje, que puede ser una manga colmada de piedras, cuya longitud variará según la densidad de cultivo.

2.5.4.1. Cultivo suspendido

En un sistema de cultivo suspendido, la profundidad variará según el área a cultivar, pero debe tener de 5 m a más. Para el cultivo suspendido, se requiere la instalación previa de un *longline*, que consiste en una línea madre fijada al fondo marino, con estructuras de fijación pesadas (fondeos) y que se mantiene suspendida con la ayuda de boyas de flotación. Las cueras o unidades de cultivo serán colocadas o atadas a la línea madre del *longline*, procurando no ser demasiado largas para evitar un enredo posterior.

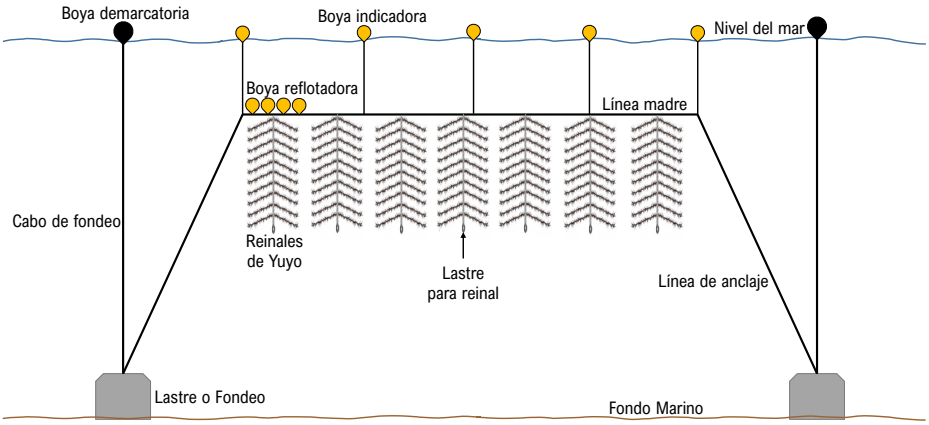


Figura 36. Sistema de cultivo suspendido en líneas de cultivo de *C. chamissoi*

2.5.4.2. Cultivo de fondo

La siembra de un sistema de fondo debe tener una profundidad no mayor de 5 m. Para este tipo de sistema, se necesita preparar mangas (bolsas) de malla pesquera menuda (anchovetera) con una longitud superior a 2,5 m. Estas mangas son rellenadas con piedras de canto rodado, para posteriormente ser cerradas. Tanto las cuerdas de esporocultivo, como las unidades de cultivo vegetativo, son sujetadas a estas y posteriormente arrojadas al mar. Luego, mediante buceo autónomo, se acomodan al fondo marino en bolsas llenas de piedras, como estructuras de peso que aseguren los sistemas al fondo marino. Las unidades de cultivo pueden emplear boyas, para asegurarlas o darles flotabilidad cuando el inóculo sea demasiado pesado.

Figura 37. Lanzado del sistema desde embarcación

Figura 38. Sistemas de anclaje o «muertos» para cultivos de fondo de *C. chamissoi*

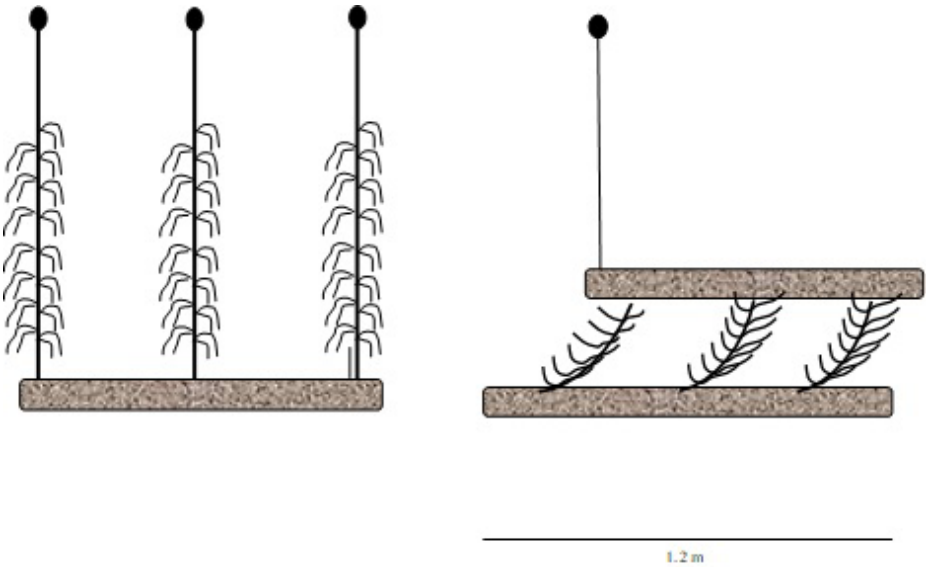


Figura 39. Sistemas de cultivo de fondo de C. chamissoi: empleando boyas (izquierda) y fijo totalmente al fondo (derecha)

2.5.4.3. Sistema semisuspendido

Estos sistemas de cultivo también son conocidos como del tipo «árbol». Están conformados por una línea de cabo grueso de media pulgada y de 2,5 m de longitud (línea madre), anclados a fondeos de 35-40 kg (malla «anchovetera» con cantos rodados) y, en el otro extremo, atados a unas boyas para la flotabilidad de los sistemas.

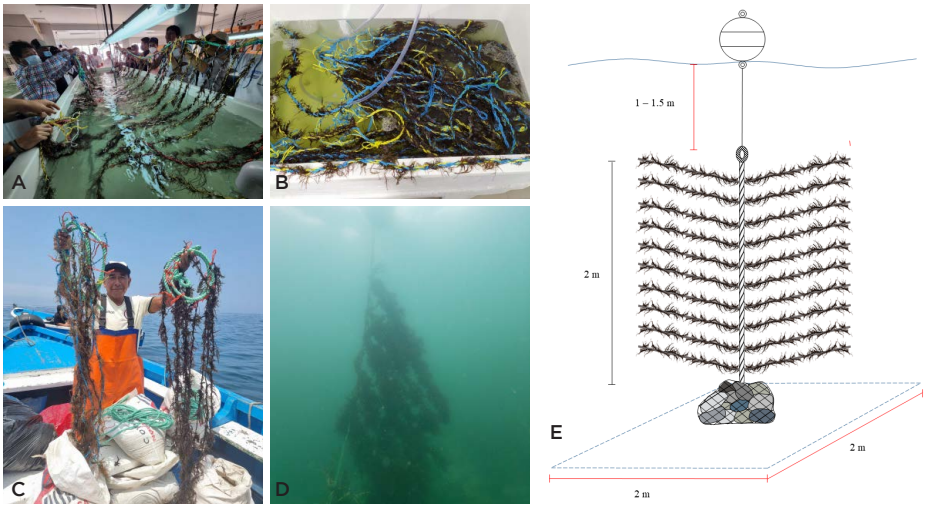


Figura 40. Diseño del cultivo de fondo de C. chamissoi. Procesos de siembra: A) corte y preparación de materiales de cultivo, via esporas y vegetativo; B) acondicionamiento en envases isotérmicos; C) preparación en el mar de los sistemas de cultivo; D) sistema de cultivo semisuspendido en mar; E) sistema de cultivo tipo «árbol»

2.6. Monitoreo

Posterior a la siembra, el personal debe proceder a recorrer el área donde las estructuras de cultivo fueron colocadas. Mediante buceo semiautónomo, son revisadas las mangas y otras estructuras de cultivo, dando prioridad a que las cuerdas y las unidades de cultivo se encuentren libres en la columna de agua o no estén enredadas.

Las líneas de cultivo deben ser instaladas al interior de las áreas de manejo en zonas donde la ola no quiebre, más recomendablemente en bahías o ensenadas protegidas del viento (en nuestro caso, del proveniente del sureste).

Durante el monitoreo, se procede a limpiar las estructuras de cultivo de sedimento y otras macroalgas, para evitar que la aglomeración de estas genere, finalmente, competencia por nutrientes y luz. Las condiciones de seguridad de las maniobras deben cumplir la normativa de la autoridad marítima.

Figura 41. Monitoreo y presencia de epífitos en sistemas de cultivo

2.7. Cosecha

Al momento de realizar la cosecha, se recomienda que las condiciones del mar sean las más adecuadas posibles (sin oleajes anómalos y poco viento). La cosecha de yuyo se debe realizar únicamente extrayendo el recurso de las estructuras de cultivo. Se ha visto que los discos basales pueden producir nuevas láminas al ser arrancadas. Por ello, es provechoso cuidar estas estructuras al momento de la cosecha, pues favorece la supervivencia de los individuos y la producción de nuevas láminas.

Figura 42. Líneas de cultivo de *C. chamissoi* listas para cosecha, empleando sistemas de fondo

CAPÍTULO 3
TRAZABILIDAD

3.1. Cadena productiva de macroalgas

Fabre (1994) define la cadena productiva como el «Conjunto de los agentes (o de agentes) económicos que contribuyen directamente a la producción y el mercado de un determinado producto» (p. 22). El Ministerio de Comercio Exterior y Turismo del Perú (Mincetur) señala que en la estructura de las cadenas productivas existen tres grandes eslabones: producción, transformación y comercialización.

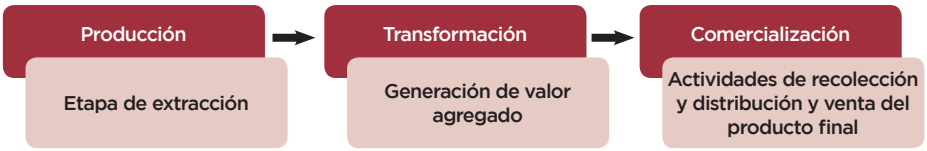


Figura 43. Eslabones de la cadena productiva

Los actores más importantes de toda cadena productiva son los que se encuentran en el primer eslabón, es decir, la producción.

Diversas experiencias han resaltado el necesario contacto con empresas procesadoras de índole mundial, así como el apoyo de distintas instituciones involucradas, a fin de aumentar las oportunidades de éxito de los emprendimientos.

La oferta de macroalgas está en crecimiento y desarrollo, pues existe una mayor demanda por satisfacer y, a la vez, una mayor exigencia sobre el producto. Ello ha generado la aplicación de nuevas tecnologías dentro de la cadena productiva de las macroalgas.

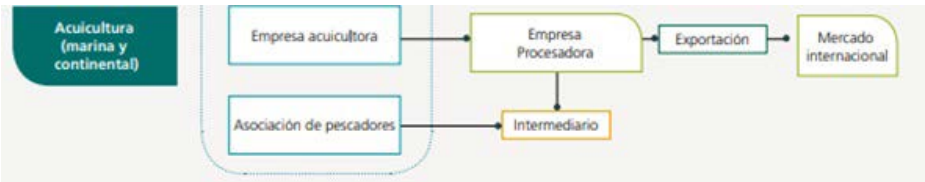


Figura 44. Cadena productiva de la acuicultura

3.2. Producción de macroalgas

En Latinoamérica, el Perú contribuye con el 4 % del total de algas desembarcadas. De esa cifra, solo el 0,01 % proviene del cultivo (acuicultura) (FAO, 2018). A nivel nacional, los mayores desembarques provienen de la recolección o cosecha de praderas naturales. El Produce ha reportado un aumento en la cantidad de desembarques, de 13 779 toneladas métricas (TM) en 2008 a 50 486 TM para 2021 (Produce, 2021). Sin embargo, desde 2012 se ha reportado una diminución de la producción de algas, una tendencia que se ha acentuado en los últimos años. Cabe resaltar que para 2014 se reportó que el 4,1 % de la producción de macroalgas rojas peruanas procedía de la acuicultura. Años posteriores se observa una disminución en los reportes estadísticos del Produce. Ávila y Padilla (2020) señalan como posible causa de la disminución de producción de algas a través de la acuicultura las dificultades en cumplir con la legislación y los sistemas de gobernanza establecidos.

Los principales mercados de abastecimiento a nivel nacional reportan el ingreso según la especie *C. chamissoi*: durante 2019, el mercado mayorista pesquero de Ventanilla registró 329,70 TM; el mercado mayorista pesquero de Villa María del Triunfo, 278,47 TM; mercados mayoristas pesqueros de las regiones del norte, 372,43 TM; y mercados mayoristas pesqueros de las regiones del sur, 41,29 (Produce, 2019).

Actualmente, *C. chamissoi* es extraída de forma manual de la zona submareal e intermareal por buzos artesanales, con regulación del Estado. Es de importancia socioeconómica, pues representa una fuente de ingreso total o parcial para las familias participantes en esta actividad extractiva.

El *boom* gastronómico del consumo de esta alga en los últimos años ha llevado a la sobreexplotación de la especie, ya que reduce sus poblaciones en las praderas naturales, y disminuye su tamaño y la calidad de gel obtenido (Ávila, 2020). Esto ha llevado a que el precio de *C. chamissoi* aumente en un 400 %, debido además a la baja tasa de regeneración y al mayor costo por la intensificación del esfuerzo pesquero (Hayashi *et al.*, 2013). Es de anotar que, ante la ausencia de control gubernamental eficiente, las empresas exportadoras intervienen en el incremento del esfuerzo extractivo, mediante acuerdos informales con los pescadores.

El costo por tonelada seca de esta macroalga, para 2007, fue de US$ 440 y en 2014 fue de US$ 840 (Rebours *et al.*, 2014). Por su lado, Noriega (2011) señala que *C. chamissoi* fresca se vende de US$ 2,99 a US$ 3,59 por kg, mientras que con un proceso de empaquetado (a 200 g) se comercializa a US$ 4,19 (Noriega, 2011). Este recurso se exporta principalmente para la extracción de carragenina. Asimismo, se indica que el incremento de la demanda y los precios se relaciona estrechamente con su mayor empleo en la industria farmacéutica, cosmética y gastronómica (Hayashi *et al.*, 2014; Berger, 2020; Bermejo *et al.*, 2020; FAO, 2020).

En este contexto, se genera un impacto negativo sobre las praderas naturales de dicha especie (Vásquez y Vega, 2001; Flores *et al.*, 2015). Ello es posible que se vea agravado con el calentamiento global y la mayor ocurrencia del evento El Niño (Tarazona *et al.*, 1999; Alvarez y Vodden, 2009; Wernberg *et al.*, 2010). Por ese motivo, es imprescindible generar estrategias de manejo de praderas, repoblamiento y mejoras en las técnicas de cultivo de esta macroalga, para que resulte viable económicamente.

C. chamissoi ha sido estudiada en Chile y el Perú. En el Perú, las experiencias de cultivo de la especie han sido promovidas desde la década de 2000 y entre 2012 y 2014 (Rebours *et al.*, 2014). En 2004 y 2007, distintas asociaciones de pescadores, con el apoyo de la empresa privada, desarrollaron el cultivo de esta alga. La FAO (2020) reporta que el intento de cultivo cesó en 2015. En los años siguientes, se han realizado experimentos que ayudan a mejorar y optimizar la tecnología de cultivo, a través de estudios relacionados con el ciclo reproductivo, la reproducción vegetativa, etc.

Desarrollar técnicas de cultivo, con el objetivo de escalar la producción y establecer proyectos de gestión sostenidos, son esenciales para utilizar y preservar los recursos de algas marinas del Perú.

3.3. Transformación

En nuestro país, la acuicultura presenta problemas en la etapa comercial, que no permiten que sus cadenas productivas puedan consolidarse (Produce, 2018). La falta de organización y de capacidades de producción, de comercialización y de gestión de las empresas acuícolas, así como la escasa comercialización directa,

generan que la venta se realice en los mismos centros de cultivo y que los intermediarios establezcan los precios al productor, generalmente muy inferiores a los encontrados en los mercados.

C. chamissoi, en su mayoría, es vendida en fresco dentro del ámbito nacional. Otra parte menor se destina a la exportación en forma deshidratada o congelada. Las exportaciones de esta especie alcanzaron su mayor volumen en 2005, con 1041,67 TM, y disminuyó a valores anuales promedio de 299,87 TM en los últimos 10 años. Según se reporta, el sector dirigido a la industria de carragenanos ha sufrido una grave reducción, debido a la calidad del recurso, el cual se ha visto seriamente comprometido por la disminución de la viscosidad de gel y del rendimiento productivo del alga, a causa de la disminución de las praderas naturales y el mal manejo de la extracción. Pero, por su lado, los precios de exportación de *Chondracanthus chamissoi* dirigidos a carragenanos han tenido un aumento importante desde 2007, hasta alcanzar en la actualidad valores FOB («*free on board*») entre US$ 1700 y US$ 1900 por TM (tabla 4). Los mercados de exportación de *Chondracanthus chamissoi* para carragenanos, durante los últimos años, han sido Canadá, China, Estados Unidos, México, Dinamarca y España.

Tabla 4. Volúmenes de exportaciones peruanas de macroalgas según la especie

Especie	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
C. chamissoi	728,9	387,3	260,4	664,4	287,7	232,1	281,6	299,7	241,8	178,4	258,5	206,8

Nota. Fuente: Aduanas. Elaborado por Gunter Villena Sarmiento

Las exportaciones en estos casos se realizan en presentación congelada, en empaques entre 250 y 500 g. Los precios para yuyo congelado alcanzan valores FOB entre US$ 2,5 y US$ 4,10 por kg. En el caso de *C. chamissoi* deshidratado, las exportaciones vienen trabajándose en dos mercados: Taiwán y Japón.

En Taiwán el mercado está destinado a algas lavadas, limpias y deshidratadas, y los valores de exportación FOB oscilan entre US$ 1,60 y US$ 4,81 por kg. Las exportaciones se realizan en sacos de 15 kg o cajas de cartón de 1012 kg.

En cuanto al Japón, el Perú reinició las exportaciones en 2019, luego de verse paralizadas en 2001. Las algas son trabajadas con procesos de selección, limpieza y coloración previa, antes de su deshidratado.

Los procesos de coloración se desarrollan bajo dos colores, verde y rojo, que son los que demanda el mercado japonés. Las características de este mercado muestran la exigencia de calidad en el producto terminado, por lo que requiere mucha mano de obra para su correcta elaboración. El valor FOB del «Suginori» (nombre que se otorga en Japón a *C. chamissoi* bajo procesos de coloración) oscila en la actualidad entre US$ 28,0 y 30,0 por kg. El empacado se realiza en cajas de cartón y bolsas plásticas virgen, con pesos aproximados de 10 a 12 kg.

3.4. Comercialización

El yuyo se comercializa seco y húmedo (fresco). El precio es mayor cuando el alga está seca, pero depende del mercado y la disponibilidad del recurso. Actualmente, el yuyo en estado fresco alcanza un valor promedio de S/ 4,00 en las zonas de extracción. Los comerciantes reúnen grandes cantidades del recurso para ser principalmente vendido en mercados mayoristas pesqueros, como el de Villa María del Triunfo (VMT), donde el precio comercial sube a S/ 10,00 por kg.

Figura 45. La comercialización del yuyo se realiza principalmente en los mercados pesqueros mayoristas

Figura 46. Proceso productivo para el *C. chamissoi* implementado por el LICMA de la Universidad Científica del Sur en la región Ica

CAPÍTULO 4
ASPECTOS LEGALES PARA DESARROLLAR ACTIVIDADES ACUÍCOLAS

¿Qué necesito para realizar el cultivo de yuyo?

Realizar la actividad acuicultura en el país requiere obtener permisos como parte de las medidas de ordenamiento para el desarrollo de la actividad acuícola. El marco legal se establece en la Ley General de Acuicultura, aprobada mediante Decreto Legislativo N.° 1195 de 2015 y el Reglamento de la Ley General de Acuicultura, aprobado a su vez por el Decreto Supremo N.° 003-2016-PRODUCE en 2016. Actualmente, según estos dispositivos legales, existen tres categorías productivas, que se diferencian por nivel productivo: la acuicultura de recursos limitados (AREL), fundamentalmente de autoconsumo y con una producción anual menor a 3,5 toneladas brutas (TB); la acuicultura de micro y pequeña empresa (AMYPE), con fines comerciales y cuya producción anual no supera las 150 TB; y la acuicultura de mediana y gran empresa (AMYGE), que se desarrolla mediante cultivos a nivel semiintensivo e intensivo, con fines comerciales, y cuya producción anual es mayor a las 150 TB.

Entonces, con base en los objetivos del plan de cultivo, se debe plantear el tipo de categoría en el que se requiere realizar la actividad acuícola.

AREL	AMYPE	AMYGE
• Cultivos a nivel extensivo • De manera exclusiva o complementaria por personas naturales • De autoconsumo y autoempleo • Producción anual menor a 3,5 TB	• Cultivos a nivel extensivo, semiintensivo e intensivo • Con fines comerciales por personas naturales o jurídicas • Producción anual menor a 150 TB • Dentro de esta categoria se encuentran los centros de producción de semilla, independientemente del volumen de producción	• Cultivos a nivel semiintensivo e intensivo • Con fines comerciales por personas naturales o jurídicas. • Producción anual mayor a 150 TB

Figura 46. Categorías productivas de la acuicultura

Requerimientos

La categoría AREL no requiere de la habilitación sanitaria de centro de cultivo, pero sí debe cumplir con los lineamientos sanitarios establecidos por el Organis-

mo Nacional de Sanidad Pesquera (Sanipes). Tampoco requiere de certificación ambiental.

La categoría AMYGE requiere contar con un estudio de impacto ambiental semidetallado (EIA-sd) aprobado por el Produce y habilitación sanitaria del centro de cultivo otorgado por Sanipes.

La categoría AMYPE requiere habilitación sanitaria del centro de cultivo otorgada por Sanipes y Declaración de Impacto Ambiental (DIA) aprobada por los gobiernos regionales en el ámbito de su jurisdicción. Esto incluye a los centros de producción de semilla, el cultivo de peces ornamentales y la acuicultura de investigación.

> Las consideraciones para desarrollar el DIA son establecidas en el anexo VI del Decreto Supremo N.º 019-2009-MINAM, Reglamento de la Ley N.º 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación Ambiental.

Entidades involucradas

El cultivo de organismos acuáticos, en áreas de concesión marina, involucra a los siguientes organismos: el Produce, la Marina de Guerra del Perú a través de la Dirección General de Capitanías y Guardacostas (Dicapi), el Sanipes, el Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles (Senace), los gobiernos regionales, el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (Sernanp) y el Instituto del Mar del Perú (Imarpe).

Por otro lado, cabe anotar que existe la Red Nacional de Información Acuícola (RNIA), que se estableció con el objetivo de incentivar el desarrollo de la acuicultura sostenible en las áreas científicas, técnicas, sanitarias, económicas, sociales y ambientales, así como para organizar y hacer accesible la información generada a nivel nacional relacionada con la actividad acuícola. Esta es una plataforma virtual que brinda información en los diferentes aspectos que contempla la acuicultura, a la vez que promueve la gestión del conocimiento,

la inversión y la cooperación nacional e internacional entre instituciones del sector público y privado. La RNIA difunde permanentemente información que se genera bajo los principios de transparencia, colaboración, equidad, respeto, compromiso, responsabilidad social y ambiental.

Produce	• Determina las áreas para la acuicultura y brinda opinión compatible de las áreas habilitas para concesión por Dicapi. • Otorga las reservas de área acuática vinculadas a los derechos administrativos bajo su competencia.
Sanipes	• Se encarga de la vigilancia y el control sanitario en los centros de producción acuícola.
Dicapi	• Habilita áreas de mar, ríos y lagos navegables con fines de acuicultura.
Sernanp	• Emite la compatibilidad y opinión técnica previa favorable si la actividad se realiza en áreas naturales protegidas y sus zonas de amortiguamiento, o en áreas de conservación regional.
Direpro	• Otorga las reservas de área acuática vinculadas a los derechos administrativos bajo su competencia.
Imarpe	• Al igual que Sernanp, emite opinión técnica sobre la presencia o ausencia de bancos naturales declarados y los volúmenes manejados para la especie.

Figura 47. Categorías

Trámites

A fin de simplificar y racionalizar los procedimientos y requisitos administrativos aplicables al acceso a la actividad de acuicultura, se habilitó la Ventanilla Única de Acuicultura (VUA). Mediante este sistema integrado, una persona natural o jurídica gestiona, a través de medios electrónicos, los trámites requeridos por las autoridades competentes para obtener un derecho que le permita desarrollar la actividad de acuicultura. El acceso a la VUA se realiza a través de la plataforma de la Ventanilla Única del Sector Producción ubicada en el portal del Produce. Los siguientes procedimientos forman parte de la VUA:

a. Otorgamiento de concesión para el desarrollo de la acuicultura en áreas públicas

b. Otorgamiento de autorización para el desarrollo de la acuicultura en áreas privadas

c. Cambio de titular de la autorización o concesión otorgada para el desarrollo de la acuicultura

d. Renovación o modificación de autorización o concesión para el desarrollo de la acuicultura

e. Otros procedimientos que tengan por finalidad otorgar autorizaciones o concesiones en materia acuícola

Se debe tener en cuenta que existen exigencias adicionales, dependiendo de la etapa de vida de la especie con la que se va a trabajar. La semilla destinada a la acuicultura se puede obtener de:

a. Centros de producción de semilla, debidamente autorizados por el gobierno regional y previamente habilitados por el Sanipes.

b. Poblaciones naturales, para las que requiere el permiso de pesca, cuando corresponda, otorgado por la autoridad competente, con la previa opinión técnica del Imarpe o de otra institución que esta delegue.

c. Importación de semilla, debidamente autorizada por el Produce o el gobierno regional correspondiente, con el Certificado Oficial Sanitario de Recursos Hidrobiológicos con fines de importación emitido por el Sanipes.

El poseedor de la semilla obtenida de centros de producción debe contar con la documentación que acredite haberlas adquirido en dichos establecimientos y con el certificado sanitario emitido por el Sanipes.

La movilización de recursos hidrobiológicos con fines de acuicultura, dentro del territorio nacional, procedentes del medio natural, centros de producción de semilla o centros de cultivo, requiere de un certificado de procedencia expedido por el Produce o el gobierno regional según su ámbito de jurisdicción, a pedido de parte, que consigne el lugar de origen y de destino final, así como la especie, la cantidad de ejemplares, la talla y el peso promedio. Debe ser comunicado por la autoridad competente al SANIPES.

Es importante tener en cuenta que:

Para efectuar una reserva del área acuática en ambientes marinos, además de la solicitud de concesión, se debe adjuntar una carta fianza emitida por una entidad del ámbito de supervisión de la Superintendencia de Banca, Seguros y Administradoras Privadas de Fondos de Pensiones por un valor ascendiente al 12 % de una Unidad Impositiva Tributaria (UIT) por cada hectárea solicitada. La carta fianza debe mantener su vigencia por un periodo de 90 días calendario. Se debe acreditar el pago por derecho de trámite.

Inversión

Los titulares de concesiones para el desarrollo de la actividad acuícola en terrenos públicos o en áreas acuáticas de dominio público pagan anualmente al Produce o al gobierno regional, según corresponda, el derecho de acuicultura. Este monto es fijado en forma anual, por hectárea o fracción, en función de la UIT, en el periodo anual anterior a la entrada en vigor mediante resolución ministerial. El pago por concepto de derecho de acuicultura será efectivo a partir del quinto año del otorgamiento del derecho. La AREL está exonerada del pago por derecho de acuicultura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Acleto, C. (1986). *Algas marinas del Perú de importancia económica*. Museo de Historia Natural «Javier Prado», Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

2. Álvarez, J. C. y Vodden, K. (2009). Local ecological knowledge and the impacts of global climatic change on the community of seaweed extractors in Pisco-Perú. En *PICMET '09 - 2009 Portland International Conference on Management of Engineering & Technology* (pp. 1025-1032). Portland International Center for Management of Engineering and Technology.

3. Arakaki, N., Gil-Kodaka, P., Carbajal, P., Gamarra, A. y Ramírez, M. E. (2018). «I-Rhodophyta». En *Macroalgas de la costa central del Perú* (p. 126). Universidad Nacional Agraria La Molina.

4. Arakaki, N., Suárez-Alarcón, S., Márquez-Corigliano, D., Gil-Kodaka, P. y Tellier, F. (2021). The widely distributed, edible seaweeds in Peru, *Chondracanthus chamissoi* and *Chondracanthus chamissoi* f. *glomeratus* (Gigartinaceae, Rhodophyta), are morphologically diverse but not phylogenetically distinct. *Journal of the World Aquaculture Society*, 52(6), 1290-1311.

5. Arbaiza, S., Gil-Kodaka, P., Arakaki, N. y Alveal, K. (2019). Primeros estadios de cultivo a partir de carpósporas de *Chondracanthus chamissoi* de tres localidades de la costa peruana. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, *54*(2), 204-213.

6. Avila-Peltroche, J. y Padilla-Vallejos, J. (2020). The seaweed resources of Peru. *Botanica Marina*, *63*(4), 381-394.

7. Berger, C. (2020). La acuicultura y sus oportunidades para lograr el desarrollo sostenible en el Perú. *South Sustainability*, *1*(1), e003.

8. Bermejo, R., Macías, M., Sánchez-García, F., Love, R., Varela-Álvarez, E. y Hernández, I. (2020). Influence of irradiance, dissolved nutrients and salinity on the colour and nutritional characteristics of *Gracilariopsis longissima* (Rhodophyta). *Algal Research*, 52(November), 102121.

9. Bulboa, C. R., Macchiavello, J. E., Veliz, K., Macaya, E. y Oliveira, E. (2007). In vitro recruitment of Ulva sp. and *Enteromorpha* sp. on gametophytic and tetrasporophytic thalli of four populations of *Chondracanthus chamissoi* from Chile. *Journal of Applied Phycology*, *19*, 247-254.

10. Caceres J. (2021). *La deshidratación de la macroalga yuyo* (Chondracanthus chamissoi) *y su efecto en las características nutricionales de la harina*. [Informe final de proyecto de investigación, Universidad Nacional del Callao].

11. Castañeda, M., Arbaiza, S., Diaz, F., Castillo, Y., Baltazar, P. y Advíncula, O. (2018). Evaluación del fotoperiodo en el asentamiento de tetraesporas de *Chondracanthus chamissoi* sobre cuerdas de polipropileno en condiciones semi-controladas de laboratorio. *Anales Científicos*, *79*(2), 459-465.

12. Dawson, Y., Acleto, C. y Foldvik, N. (1964). The seaweeds of Peru. *Nova Helwigia*, *13*, 1-111.

13. Fabre, P. (1994). Nota metodológica general sobre el análisis de cadenas: utilización del análisis de cadenas para el análisis económico de políticas. *Informe de Capacitación para Planificación Agrícola*, *35*. Dirección del Análisis de las Políticas de FAO.

14. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO. (2018). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible*. FAO.

15. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO. (2020). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción*. FAO.

16. Flores, D., Zavala, J., Donayre, S., Guardia, A. y Sarmiento, H. (2015). Evaluación poblacional de *Chondracanthus chamissoi* (C. Agardh, 1820) en las bahías de Pisco y Paracas, otoño 2010. *Informe Instituto del Mar del Perú*, *42*(4), 504-509.

17. Hayashi, L., Bulboa, C., Kradolfer, P., Soriano, G. y Robledo, D. (2013). Cultivation of red seaweeds: a Latin American perspective. *Journal of Applied Phycology*, *26*, 719-727.

18. Mayta-Huatuco, E., Mariano, M., Mamani, E., Montoya, H., Sevilla, L., Quispe, B., Gonzales, M. E., Tarazona, R., Quintana, A. y Sulca, J. (2020). Extracción y evaluación de compuestos antivirales de *Chondracanthus chamissoi* y *Chlorella peruviana* contra el virus dengue serotipo 2. *Acta Médica Peruana*, *37*(1), 11-18. https://doi.org/10.35663/amp.2020.371.957

19. Miranda-Delgado, A., Montoya, M. J., Paz-Araos, M., Mellado, M., Villena, J., Arancibia, P., Madrid, A. y Jara-Gutiérrez, C. (2018). Antioxidant and anti-cancer activities of brown and red seaweed extracts from Chilean coasts. *Latin American Journal of Aquatic Research*, *46*(2), 301-313. https://doi.org/10.3856/vol46-issue2-fulltext-6

20. Noriega, C. (2011). *Algas comestibles del Perú. Pan del futuro*. Universidad de San Martín de Porres.

21. Ortiz, J. (2011). *Composición nutricional y funcional de algas Rodoficeas chilenas*. Departamento de Ciencias de los Alimentos y Tecnología Química. Universidad de Chile.

22. Oyarzo, S., Ávila, M., Alvear, P., Remonsellez, J. P., Contreras-Porcia, L. y Bulboa, C. (2021). Secondary attachment disc of edible seaweed *Chondracanthus chamissoi* (Rhodophyta, Gigartinales): Establishment of permanent thalli stock. *Aquaculture*, *530*, 735954.

23. Ministerio de la Producción, Produce. (2018). *Anuario estadístico pesquero y acuícola – 2018*. Produce.

24. Ministerio de la Producción, Produce. (2021). *Anuario estadístico pesquero y acuícola – 2021*. Produce.

25. Ramírez, M. E. y Santelices, B. (1991). Catálogo de las algas marinas bentónicas de la costa temperada del Pacífico sudamericano. *Monografías Biológicas*, *5*, 1-437.

26. Rebours, C., Marinho-Soriano, E., Zertuche-González J., Hayashi, L., Vásquez, J., Kradolfer, P., Soriano, G., Ugarte, R., Abreu, M., Bay-Larsen, I., Hovelsrud, G., Rødven, R. y Robledo, D. (2014). Seaweeds: an opportunity for wealth and sustainable livelihood for coastal communities. *Journal of Applied Phycology*, *26*, 1939-1951.

27. Riofrío O. (2003). Efecto de la variabilidad térmica sobre la biología vegetativa y reproductiva de *Chondracanthus chamissoi* (Agardh) Kützing (Rhodophyta) en la bahía de Ancón, Perú. [Tesis en Biología, Universidad Nacional Mayor de San Marcos].

28. Rodriguez, S. A., Weese, E., Nakamatsu, J. y Torres, F. (2016). Development of biopolymer nanocomposites based on polysaccharides obtained from red algae Chondracanthus chamissoi reinforced with chitin whiskers and montmorillonite. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, *55*(15), 1557-1564. https://doi.org/10.1080/03602559.2016.1163583

29. Sáez, F. y Macchiavello, J. (2018). Secondary attachment discs: A new alternative for restoring populations of Chondracanthus chamissoi (Gigartinales, Rhodophyta). *Latin American Journal of Aquatic Research*, *46*, 140-146.

30. Silva, P. C., Basson, P. W. y Moe, R. L. (1996). Catalogue of the benthic marine algae of the Indian Ocean. University of California Publications in Botany.

31. Tarazona, J., Indacochea, A., Valle S., Córdova, C., Ochoa, N., Serrano, W. y Peña, T. (1999). Impacto de «El Niño 1997-98» sobre el ecosistema marino somero de la costa central del Perú. *Revista Peruana de Biología*, *6*(3), 18-31.

32. Torres, D., Castro, J. y Vílchez, F. (2020). Prospección biológica-poblacional de las macroalgas marinas de importancia comercial en las praderas de Chérrepe y playa las rocas (30 octubre - 4 noviembre 2017). *Informe Instituto del Mar del Perú*, *47*(3), 367-375.

33. Uribe, R., Atoche, D., Paredes, J. y Seclén, J. (2020). Características bioecológicas de la macroalga roja *Chondracanthus chamissoi* (C. Agardh) Kützing (Rhodophyta, Gigartinaceae) en la zona intermareal del norte de Perú. *Boletín Instituto del Mar del Perú*, *35*(2), 271-293.

34. Vásquez, J. y Vega, J. (2001). *Chondracanthus chamissoi* (Rhodophyta, Gigartinales) in northern Chile: ecological aspects for management of wild populations. *Journal of Applied Phycology*, *13*, 267-277.

35. Vásquez, V., Martínez, R. y Bernal, C. (2019). Enzyme-assisted extraction of proteins from the seaweeds *Macrocystis pyrifera* and *Chondracanthus chamissoi:* Characterization of the extracts and their bioactive potential. *Journal of Applied Phycology*, *31*, 1999-2010. https://doi.org/10.1007/s10811-018-1712-y

36. Véliz, K., Chandía, N., Karsten, U., Lara, C. y Thiel, M. (2019). Geographic variation in biochemical and physiological traits of the red seaweeds *Chondracanthus chamissoi* and Gelidium lingulatum from the southeast Pacific coast. *Journal of Applied Phycology*, *31*, 665-682. https://doi.org/10.1007/s10811-018-1532-0

37. Vilcanqui, Y., Mamani-Apaza, L. O., Flores, M., Ortiz-Viedma, J., Romero, N., Mariotti-Celis, M. S. y Huamán-Castilla, N. L. (2021). Chemical characterization of brown and red seaweed from Southern Peru, a sustainable source of bioactive and nutraceutical compounds. *Agronomy*, *11*(8), 1669. https://doi.org/10.3390/agronomy11081669

38. Wernberg, T., Thomsen, M. S., Tuya, F., Kendrick, G. A., Staehr, P. A. y Toohey, B. D. (2010). Decreasing resilience of kelp beds along a latitudinal temperature gradient: Potential implications for a warmer future. *Ecology Letters*, *13*, 685-694.

39. Zapata-Rojas, J. C., Gonzales-Vargas, A. M. y Zevallos-Feria, S. A. (2020). Estudio comparativo para propagación vegetativa de *Chondracanthus chamissoi*, Yuyo, sobre tres tipos de sustrato en ambiente controlado y su viabilidad en la región Moquegua. *Enfoque UTE*, *11*, 37-47

El presente manual es el resultado de los diversos trabajos que se vienen realizando en la biotecnia de manejo de esta especie, por parte del Laboratorio de Investigación de Cultivos Marinos (LICMA) de la Universidad Científica del Sur, que contiene valiosa y muy aplicable información sobre la vida, ecología, cultivo, mercados, comercialización y usos de este importante recurso propio de las costas del Perú y Chile. Asimismo, se incorpora una útil y explicativa sección sobre los procedimientos para el acceso y los permisos requeridos, a fin de desarrollar las diversas modalidades de acuicultura en el país.

Christian Berger Cebrelli

ISBN: 978-612-4276-39-2