

Resultados generales

Investigación, desarrollo, cultivos y uso industrial de algas *Gracilaria*



Corporación de Fomento de la Producción
Instituto de Fomento Pesquero



AP 89/2a

RESULTADOS GENERALES

"Investigación, Desarrollo, Cultivos y Uso Industrial
de Algas Gracilaria"

REQUIRENTE : CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION, CORFO
Ministro Vicepresidente Ejecutivo: GUILLERMO LETELIER SKINNER

CONTRAPARTE : GERENCIA DE DESARROLLO, CORFO
Gerente de Desarrollo: EDUARDO SILVA ARACENA
Jefe Area Pesquera: ANGELA KALERGIS CARIDI

EJECUTOR : INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP
Director Ejecutivo: ARTURO RIED STUKER
Jefe División Recursos y Pesquerías: ALFREDO SANHUEZA SEGUEL

La Corporación de Fomento de la Producción, **CORFO**, a través de su Gerencia de Desarrollo, encargó al Instituto de Fomento Pesquero, **IFOP**, la realización del estudio: "Resultados Generales".

El objetivo de este estudio es integrar los resultados obtenidos en los estudios específicos efectuados sobre la producción de algas en cultivo en ambientes controlados y praderas artificiales, procesos de obtención de agar a nivel piloto, cinética de secado de algas semi secas y evaluación económica de cultivos de Gracilaria.

Este documento forma parte de la Serie de Estudios Especiales del Programa "Investigación, Desarrollo, Cultivos y Uso Industrial de Algas Gracilaria", contratado por **CORFO** a **IFOP**, cuyo objetivo es establecer las bases técnicas y económicas para el desarrollo y consolidación de actividades productivas, basadas en un aprovechamiento racional e integral del recurso algas Gracilaria.

La ejecución del estudio fue de responsabilidad de la Bióloga Marino Sra. Marcela Avila L., bajo la coordinación del Sr. Alfredo Sanhueza S., Jefe de la División Recursos y Pesquerías de **IFOP**; actuando como contraparte, en representación de **CORFO**, la Ingeniero Civil Industrial Sra. Angela Kalergis C., Jefe del Area Pesquera de dicha Corporación.



PERSONAL PARTICIPANTE

Jefe de Proyecto: **MARCELA AVILA**

Coordinador Pontificia Universidad Católica de Chile: **BERNABE SANTELICES**

Coordinador Universidad Austral de Chile: **RENATO WESTERMEIER**

**Investigadores Universidad
Austral de Chile**

Renato Westermeier

Pedro Rivera

Iván Gómez

Mirta Cid

David Patiño

**Investigadores Pontificia
Universidad Católica de Chile**

Bernabé Santelices

Raúl Ugarte

Patricio Camus

Marcelo Bobadilla

Sergio Navarrete

Investigadores Instituto de Fomento Pesquero

María Julia Badilla

Armando Mora

Maida Díaz

Enrique Aranda

Cristián Jélvez

Consuelo Cortés

Edgardo Cabezas

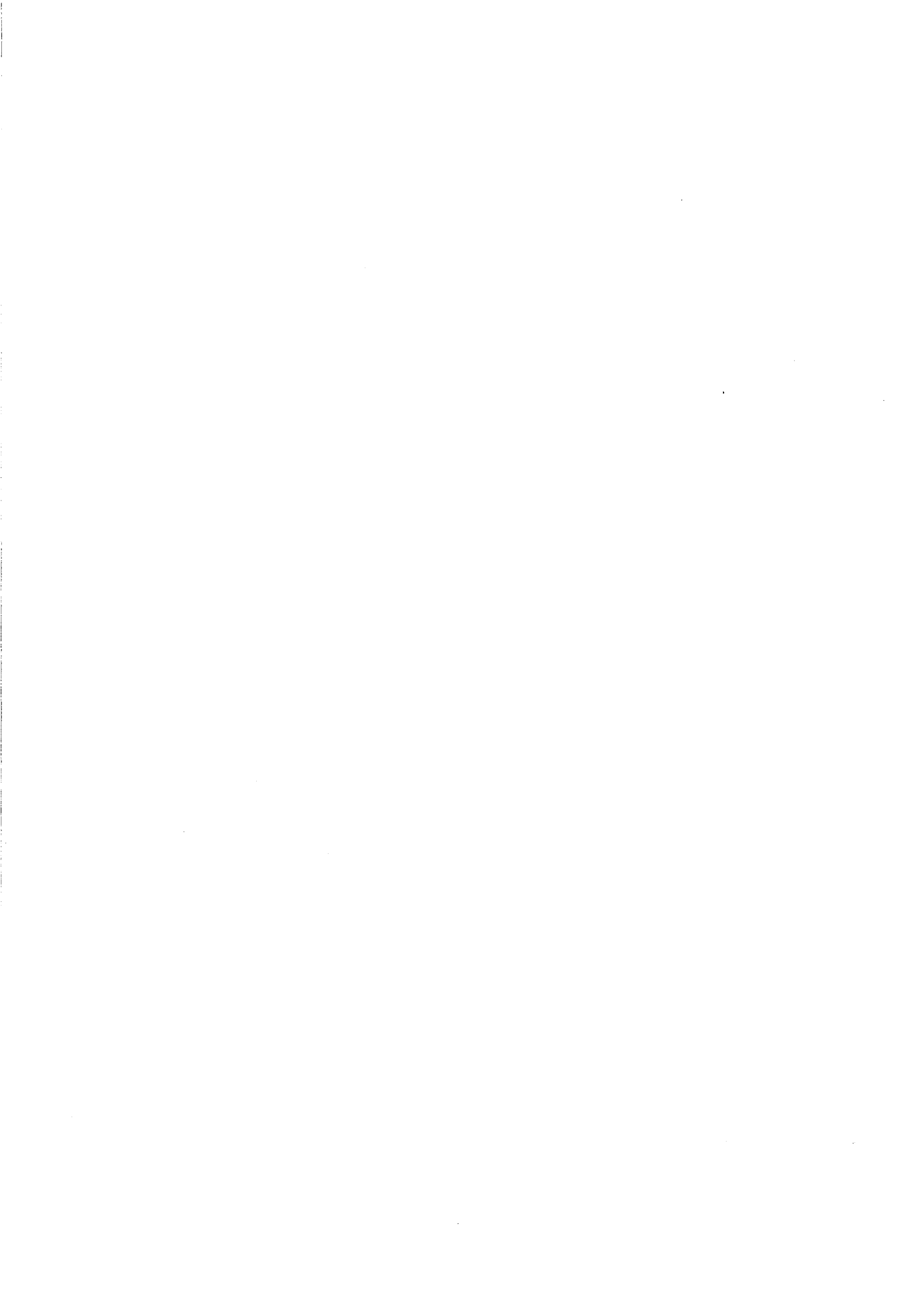
Luis Olgún

Erika Muñoz

Autor: MARCELA AVILA

Colaboradores: María Julia Badilla
Consuelo Cortés
Cristián Jélvez
Enrique Aranda

Marzo 1989



I N D I C E

	<u>Pág.</u>
INTRODUCCION	1
RESUMEN Y CONCLUSIONES	4
MATERIALES Y METODOS	16
A. DESARROLLO DE CULTIVOS Y TECNICAS UTILIZADAS	16
1. Cultivo en estanques	16
1.1 Ciclo anual de producción en cultivos continuados	16
1.2 Evaluación experimental de factores ecológicos	18
2. Cultivo en praderas artificiales	19
2.1 Análisis de aguas	19
2.2 Evaluación de técnicas de cultivo	20
2.3 Análisis de geles	20
2.4 Epífitos	20
3. Cultivo de cepas	24
4. Manejo y recomendaciones para el cultivo de <u>Gracilaria</u> en el sur de Chile	25
B. APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL: OBTENCION DE AGAR EN LABORATORIO TECNOLOGICO, PLANTA Y ESTABILIZACION DEL ALGA COMO MATERIA PRIMA	26
1. Laboratorio tecnológico	26
2. Planta piloto	28
3. Cinética de secado e isoterma de sorción	31
C. ANTECEDENTES ECONOMICOS	34
1. Evaluación económica de los módulos de producción	34
2. Supuestos y limitaciones	34
3. Criterios de evaluación	34

RESULTADOS Y DISCUSION	36
A. DESARROLLO DE CULTIVOS Y TECNICAS UTILIZADAS	36
1. Cultivo en estanques	36
1.1 Ciclo anual de producción en cultivos continuos	36
1.2 Evaluación experimental de factores ecológicos	39
2. Cultivo en praderas artificiales	43
2.1 Análisis físico químico de las aguas	43
2.2 Evaluación de técnicas de cultivo	45
2.2.1 Productividad plantación directa	45
2.2.2 Productividad del sistema mangas de polietileno	47
2.2.3 Productividad del sistema de cuerdas suspendidas	47
2.2.4 Réplicas	48
2.3 Análisis de geles	49
2.4 Epifitismo	50
3. Cultivo de cepas	50
B. APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL Y ESTABILIZACION DE ALGAS SECAS COMO MATERIA PRIMA	53
1. Laboratorio tecnológico	53
1.1 Tratamiento alcalino	53
1.2 Extracción de agar	56
2. Planta piloto	58
2.1 Escalamiento de las condiciones de laboratorio tecnológico	58
2.2 Optimización de variables de proceso	59
2.3 Resumen de los resultados de la optimización de variables a nivel de planta piloto	63
2.4 Optimización de insumos	65
2.5 Comparación del método de congelado versus prensado	66
2.6 Procesamiento de alga provenientes de praderas	67
2.7 Balance de materiales	70
2.8 Aplicación de enzima	70
2.9 Comparación del agar obtenido en planta piloto, res- pecto a agar comercial	73



3. Cinética de secado e isotermas de sorción

75

C. EVALUACION ECONOMICA

77

1. Praderas artificiales

77

1.1 Preselección de alternativas

77

1.2 Evaluación económica

77

1.3 Análisis de sensibilidad

80

2. Cultivo en estanques

81

ANEXO

INTRODUCCION

Los desembarques de Gracilaria en Chile han experimentado notables variaciones en los últimos años. La creciente demanda a nivel internacional y los altos precios alcanzados en su exportación han provocado una sobre-explotación de todas las praderas naturales existentes en el país (IV, VIII y X Región). Es así como en el período 86-87 se redujo la producción casi en un 60% en relación al período 83-85, produciéndose un volumen total de 56.000 toneladas húmedas (de las cuales el 16,2% corresponde a cosechas de cultivo). En la temporada 87-88 el volumen total fue levemente superior (59.787 t), pero el aporte de cultivos aumentó a casi un 40%.

Nuestro país aporta aproximadamente el 45% de Gracilaria transada en el mercado internacional y en relación a productos derivados (agar), contribuye con un tercio de la producción mundial. Durante 1987 el retorno de divisas fue de alrededor de 17 millones de dólares por Gracilaria seca y agar.

En este contexto, es necesario realizar acciones que permitan sostener e incrementar los volúmenes de producción anual y así satisfacer la creciente demanda internacional y a su vez lograr elevar el volumen de divisas por concepto de exportaciones. Estas actividades deben estar basadas en la producción masiva del recurso en praderas artificiales y en sistemas controlados.

Desde un punto de vista técnico, el cultivo presenta ventajas, tales como el incremento de la productividad por unidad de superficie y la posibilidad de incorporar nuevas áreas a la producción

de este recurso. Este proyecto analiza las posibilidades del cultivo en estanques, cuyas características observadas en otros países, permiten estimar un buen desarrollo principalmente en la zona norte del país y a través de cultivos en praderas artificiales, que presentan las mejores perspectivas en la zona sur, dada las particulares condiciones allí existentes, especialmente en la X Región.

Otro aspecto importante de esta pesquería, dice relación con el bajo valor agregado de este recurso, el cual representa la materia prima para la obtención de agar, ya que la tendencia hasta 1984 era de exportar mayoritariamente alga seca.

Bajo esta premisa y considerando que el sector pesquero chileno debería crecer fundamentalmente a través del incremento del valor agregado y mejoramiento de los sistemas de comercialización, el proyecto considera el desarrollo de estos aspectos mediante la incorporación de tecnologías de procesamiento y el diseño de estrategias de comercialización, para lo cual se buscará el trabajo conjunto con potenciales interesados a nivel internacional y nacional (compañías productoras y comercializadoras), en orden a lograr las bases futuras para una colaboración comercial.

En relación a la problemática planteada en torno a este recurso la Corporación de Fomento de la Producción ha solicitado este estudio cuyo objetivo general es, establecer las bases técnicas y económicas para el desarrollo y consolidación de una actividad productiva, basada en un aprovechamiento racional e integral del recurso Gracilaria.

En este contexto se ha realizado una investigación conjunta del IFOP, la Universidad Católica de Chile y la Universidad Austral, cuyos objetivos específicos (Tabla Anexa), están orientados a entregar elementos que permitan disponer en forma controlada de materia prima, obtener una tecnología disponible para la elaboración de agar, caracterizar la estabilización de la materia prima y entregar antecedentes económicos sobre los sistemas de cultivo.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

El presente documento entrega los resultados obtenidos de un estudio desarrollado conjuntamente por el Instituto de Fomento Pesquero, la Universidad Católica de Chile y la Universidad Austral cuyo objetivo principal fue establecer las bases técnicas y económicas para el desarrollo y consolidación de una actividad productiva basada en un aprovechamiento racional e integral del recurso Gracilaria.

La información está orientada a entregar elementos que permitan:

- Producción estable de materia prima, en ambientes controlados y pradera artificiales (cultivos).
- Disponer de una tecnología para la elaboración de agar.
- Estabilización de la materia prima
- Entregar antecedentes económicos sobre los sistemas de cultivo probados.

Para la producción de materia prima se iniciaron cultivos en estanques de 1 m^3 en el laboratorio costero de la Universidad Católica de Chile, a los que se les adicionó CO_2 , nutrientes, aire entre los factores más relevantes. Para el cultivo de praderas artificiales se diseñó una experiencia que consideró tres

sistemas de cultivo: mangas de polietileno "chululo", siembra directa y cultivo en cuerdas a los que se aplicaron diferentes artes de poda, tiempo de cosecha y altura de corte.

En la obtención de una tecnología para la elaboración de agar las experiencias se diseñaron en laboratorio tecnológico para determinar las condiciones óptimas de las diferentes variables en la extracción de agar y aplicación de condiciones diferentes al esquema tradicional de obtención de agar. Se hizo un escalamiento a planta piloto para proyectar el proceso en relación a las variables obtenidas a nivel de laboratorio tecnológico, para disponer de antecedentes que permitirían proyectar a plantas industriales de tamaño mediano. Para la estabilización de alga seca como materia prima se efectuó un estudio de cinética de secado y obtención de isoterms de sorción. Por otra parte se realizó una evaluación económica de los sistemas de cultivo, con los resultados experimentales obtenidos en estanques y en praderas artificiales.

Se presentan en este volumen en forma integrada los resultados generales del proyecto acompañado de 7 anexos que incluyen la información técnica relativa a los objetivos específicos. En este volumen se incluye además un anexo con las conclusiones y lista de asistentes al taller de discusión de los resultados obtenidos en este proyecto, efectuado el 29 de julio de 1988.

Los principales resultados obtenidos permiten concluir que:

En Chile central es posible mantener cultivos de Gracilaria en estanques, en forma continua a lo largo de un año, con recambio de agua, adición de CO₂, aire y nutrientes. El problema prin-

cipal, lo constituyó el epifitismo que se puede controlar pretratando el agua antes de que llegue al cultivo, aunque ésto significa reducir los valores de biomasa obtenidos de Gracilaria.

La producción en estanques es continua, pero fuertemente estacional, presenta dos períodos importantes, alta productividad en verano (100 g de materia húmeda/m² día¹) y baja en invierno (10 g/m² día⁻¹). La producción total del año es de 4,1 kg de biomasa m² año⁻¹, valor cuatro veces mayor que la producción reportada en praderas naturales del norte de Chile.

De acuerdo a los resultados se sugiere tener cultivos de verano e invierno, esto implica efectuar ajustes en la densidad inicial, horas diarias y frecuencia de burbujeo, niveles de CO₂ y de nutrientes los que incrementarían la producción a 6 kg m⁻² de alga seca al año.

Los resultados de la evaluación económica de estos módulos indican en un horizonte de evaluación de 10 años, no se alcanza a recuperar la inversión por concepto de estanques. Dado lo anterior esta alternativa no se considera económicamente adecuada para las actuales condiciones de producción y precios.

En el caso de los cultivos en praderas iniciados en el río Cariquilda los resultados del análisis de los diferentes parámetros tales como salinidad, temperatura del agua, pH y concentración de O₂, CO₂ y HCO₃ muestran que, en la zona que se escogió las concentraciones se ajustan claramente a lo reportado en la literatura para ambientes estuarinos.

El cultivo de Gracilaria en áreas donde no existía el recurso, es factible técnicamente. La biomasa extraída en todos los sistemas de cultivo mostró una estacionalidad que se concentra en los períodos de otoño y primavera y verano.

Se detectó un gradiente de productividad en relación a la altura de la columna de agua, por lo que se recomienda desarrollar cultivos en profundidades de dos metros o más.

En las plantaciones efectuadas en el intermareal, el exceso de radiación, temperatura, composición de sedimento y marejadas, fueron los factores determinantes que provocaron el desprendimiento de las plantas.

Las características del sustrato determinan el grado de sobrevivencia de las plantas. Sedimentos con una proporción arenosa superior a un 90% son óptimos para que una plantación sea exitosa. Sobre un 10% de fango produce necrosis en los talos.

La dinámica de recambio del agua tiene influencia sobre la abundancia y establecimiento de epífitos.

La productividad del sistema de siembra directa es mayor en la zona submareal que en el intermareal. Las estimaciones proyectadas a una hectárea/año, indicaron en algunos casos valores cercanos a las 200 toneladas húmedas, principalmente bajo frecuencias de cosecha mensual, bimensual y cada tres meses. La sobrevivencia es baja e inestable en el tiempo, el mayor resultado se obtuvo en una serie submareal, 50%.

En el sistema de mangas de polietileno, la sobrevivencia presenta mayor estabilidad en el tiempo y los valores oscilaron entre 70 y 100%. la producción máxima estimada para una hectárea es de alrededor de 130 t/año (húmeda) con un sistema de cosecha frecuente (1,2 y 3 meses).

Los cultivos realizados sobre cuerdas suspendidas fueron los que comprativamente presentaron niveles de biomasa más estable a lo largo del estudio. La producción anual alcanza valores de 120 t/há (húmeda).

El contenido de geles fue uniforme en los cultivos. El rendimiento y fuerza de gel tiende a aumentar hacia primavera-verano.

La presencia de epífitos fue evidente a lo largo del estudio, pero no representó un problema grave para el desarrollo del cultivo (8%).

La salinidad, temperatura y porcentaje de sobrevivencia son los factores que están incidiendo mayormente sobre las variables de la biomasa. Sin embargo, el conjunto de factores abióticos y bióticos son los que regulan la totalidad de estos cambios.

La periodicidad de cosecha es el factor más importante que influye en la productividad de Gracilaria y estos deben efectuarse cada 3 ó 4 meses.

La evaluación económica de los tres sistemas de cultivo utilizados en praderas indica que la alternativa más rentable es la de plantado directo en un área de 10 hectáreas (TIR 106,3%).

En relación al estudio de cepas efectuado en laboratorio, los resultados indican que, se pueden distinguir 3 tipos de respuestas:

Las poblaciones de Maullín se caracterizan por presentar la mayor velocidad de crecimiento entre las 4 poblaciones estudiadas, pueden crecer a intensidades luminosas bajas, y son sensibles a incrementos de fotoperíodo de eficiencia de CO_2 , abrasión por arena y enterramiento. Las plantas parecen especialmente adaptadas a crecer en ambientes estuarinos, con arena-fango, y baja iluminación característica del sur de Chile.

Las poblaciones de Talcahuano y Antofagasta tienen velocidad de crecimiento más reducida que las poblaciones de Maullín. Pueden incrementar su crecimiento con aumentos en intensidad luminosa más que con aumentos del fotoperíodo, presentan buena resistencia a abrasión por arena y enterramiento.

Las poblaciones de Coquimbo muestran una combinación de características que las hace poco atractivas para propagarlas. La velocidad de crecimiento es baja y los requerimientos de luz son estrechos, presentan alta sensibilidad a abrasión de arena y enterramientos.

Las experiencias efectuadas a nivel de laboratorio tecnológico permitieron determinar las condiciones óptimas de las diferentes variables en la extracción de agar y realizar experiencias adicionales diferentes al esquema tradicional.

En base a los resultados, se concluyó desde un punto de vista técnico y económico que los valores óptimos de las variables para el proceso de obtención de agar a partir de las algas del Río Pudeto son:

Tratamiento alcalino:

- Concentración NaOH = 3%
- Tiempo de tratamiento = 3 horas
- Relación líquido/sólido = 25/1

Extracción:

- Tiempo de extracción = 1 hora
- Relación líquido/sólido = 30/1
- pH = 7 \pm 0,2

En base a estas condiciones de tratamiento se obtuvo un rendimiento de 27,2% (base seca) y una fuerza de gel de 804 g/cm². De acuerdo al balance de materiales en la primera extracción se obtuvo un rendimiento de 91,5 y en la segunda etapa de 8,5 respecto al agar total extraído. El rendimiento a colagar fue de 55,5% con 18% de humedad.

En general se determinó una relación inversa entre el rendimiento y la fuerza de gel, principalmente en función de la concentración de NaOH y tiempo de tratamiento alcalino.

Los rendimientos referenciales para muestras de diferentes praderas (Mejillones, Talcahuano y Maullín) fueron muy similares y superiores a los obtenidos con materia prima proveniente de los estudios de cultivos experimentales (Universidad Católica, Universidad

Austral), La fuerza de gel de las diferentes zonas fue inferior a la de cultivos, encontrándose sin embargo dentro de los rangos comerciales importantes.

La composición química de las algas provenientes de las praderas presentaron gran semejanza en fibra y azúcar reductor. Diferencias importantes se encontraron en proteínas (35%) y cenizas (55%), para las praderas de Talcahuano y Maullín respectivamente.

Los resultados obtenidos con la aplicación de otras tecnologías, pretratamiento ácido y utilización de enzima celulasa fueron inferiores a aquellos con las condiciones óptimas.

El escalamiento a planta piloto permitió proyectar el proceso a un mayor volumen de producción y optimizarlo en relación a las variables obtenidas a nivel de laboratorio tecnológico esto, permitiría a su vez proyectarla en unas 33 veces para obtener el nivel de las plantas industriales de tamaño mediano.

De acuerdo a los resultados promedio del escalamiento de condiciones óptimas de laboratorio tecnológico, se pudo concluir que los valores de rendimiento y fuerza de gel fueron inferiores en un orden del 40,5 y 8,5%, respectivamente.

Con la finalidad de mejorar los resultados anteriores, se optimizaron las variables de escalamiento a nivel de planta piloto, determinándose los siguientes parámetros en términos de tener una fuerza de gel y un rendimiento de nivel comercial, 700 g/cm^2 y 25% aproximadamente.

Tratamiento alcalino:

- Tiempo = 3,5 horas
- Concentración NaOH = 3,5%
- Relación líquido/sólido = 30/1

Extracción:

- Tiempo = 2 horas
- Relación líquido/sólido = 35/1

Respecto a las condiciones de laboratorio en el escalamiento de las variables involucradas en el tratamiento alcalino, se produjo un incremento del rendimiento en 12,4% y la fuerza de gel se mantuvo relativamente constante, en la etapa de extracción el rendimiento se incrementó en un 31,4% y la fuerza de gel en 10,4%.

Para los rangos en que se estudió cada variable, el incremento más relevante se obtuvo en el escalamiento del tiempo de extracción. Por otra parte los resultados obtenidos son susceptibles de incrementarlos, debido a que cada variable fue modificada en forma independiente; adicionalmente por concepto de una segunda extracción, se incrementa el rendimiento en un orden del 11 a 12%.

La optimización del proceso en planta piloto implica un mayor costo sin embargo, el balance de beneficios versus costos, resulta positivo con una mayor generación de ingresos neto del orden de un 20,0%, considerando un precio de venta del agar de US\$ 17,2/kg.

Referente a la optimización de insumos, que consideró la reutilización de soda de primer uso y de cloro; se pudo concluir en base a los resultados de rendimiento, fuerza de gel y color, que la solución de NaOH, se puede reutilizar una vez, ya que los resultados obtenidos fueron similares a los logrados en el tratamiento alcalino con soda de primer uso, obteniendo un ahorro total por concepto de gasto de soda del orden del 25 a 30%. El blanqueo para algas tratadas con soda reutilizada, se optimizó, mediante el aumento de la relación líquido/sólido a 20/1 y/o aumento del tiempo a 15 minutos, la reutilización de cloro no entregó un producto estándar en cuanto a color, por lo tanto, no es recomendable su adopción.

De la comparación del método de congelado prensado se deduce que el método de deshidratación por presión entrega un producto, con menor humedad en base seca, siendo un 52,9% inferior al del método de congelado (sin centrifugación). Se recomienda el sistema de prensado para geles de Gracilaria, ya que permite obtener una buena calidad de agar, a un menor tiempo y costo respecto al método de congelación.

Adicionalmente, se pudo concluir que el proceso de prensado se debe iniciar con presiones bajas y aumentarlas en forma paulatina. Las curvas de prensado y velocidad de prensado permiten determinar los tiempos efectivos de deshidratación del gel, y aumentar la eficiencia del proceso.

Los resultados del procesamiento de las altas de diferentes praderas para dos horas de extracción, indicaron que a partir de las algas de Mejillones, se obtuvo un mayor rendimiento (21,7%) y menor fuerza de gel (865 g/cm^2), rendimientos menores (18,0 y 19,2%) y mayor fuerza de gel (1.100 g/cm^2) se obtuvieron con algas de Talcahuano y Maullín. Al efectuar una segunda extracción los

rendimientos fueron similares. El proceso de las algas de Talcahuano y Maullín se puede optimizar, en función de una disminución de la fuerza de gel, dentro de los valores comerciales, en beneficio de un mayor rendimiento.

De lo anterior, se deduce que el proceso de obtención de agar, es dependiente de las características de la materia prima. Por lo tanto, es recomendable previo a un proceso industrial, determinar las condiciones óptimas en función de la materia prima.

La evaluación del agar obtenido en planta piloto con 2 horas de extracción, respecto al agar comercial, indicó que son comparables, ya que los resultados de la composición química, estuvieron en el rango de los tipos de agar comerciales analizados y se encuentra dentro del grado especial de acuerdo a los estándares de Japón.

Por lo tanto, se puede concluir que la metodología aplicada en planta piloto, permitió obtener agar de calidad comercial (composición química, fuerza de gel y color) y podría ser eventualmente proyectada a nivel industrial.

Por último se efectuó el escalamiento del proceso con enzima celulasa, para dos horas de tratamiento alcalino. Los resultados de rendimiento y fuerza de gel fueron altamente coincidentes con el blanco (3 horas de tratamiento alcalino); por lo tanto, es recomendable efectuar experiencias adicionales para una mayor optimización de este tratamiento.

Por otra parte, el estudio de la cinética de secado y obtención de isoterma de sorción, tuvo como objetivo la estabilización del alga seca como materia prima de alto valor comercial.

Las curvas de secado y velocidad de secado de algas semisecas con impurezas, se obtuvieron en función de las variables de operación: temperatura, velocidad del aire y espesor de lecho. Dichas curvas permitieron definir técnicamente, las condiciones más adecuadas del secado de Gracilaria semiseca, de manera de minimizar el deterioro del agar.

Los resultados de optimización de estas variables fueron:

- Velocidad del aire de secado = 3 m/seg
- Temperatura de secado = 8 °C
- Espesor de lecho de secado = 13 cm

El deterioro de la fuerza de gel fue proporcional a la temperatura y fluctuó entre 5% (60°C) 27% (110°C); y disminuye a 7,5% (80°C). Este deterioro es inversamente proporcional con la velocidad del aire en un rango bastante inferior (3-5%).

Las isoterma de sorción permitieron señalar como condiciones óptimas de almacenamiento de materia prima una humedad relativa de 50 y 60% y ligeramente inferiores para 6°C y 25°C, respectivamente, de manera de conservar la calidad posterior al proceso de secado.

MATERIALES Y METODOS

Las metodologías más relevantes involucradas en el estudio de cada uno de los objetivos son las siguientes:

A. DESARROLLO DE CULTIVOS Y TECNICAS UTILIZADAS

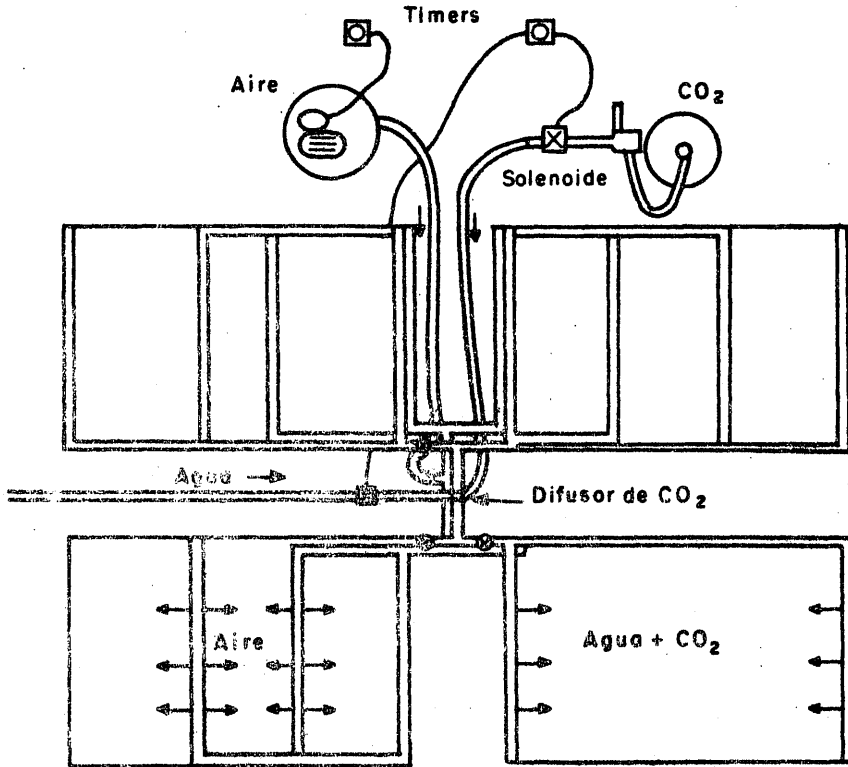
1. Cultivo en estanques

Los experimentos se realizaron en la Estación Costera de Investigaciones Marinas de la Pontificia Universidad Católica de Chile, ubicada en la localidad de Las Cruces (33°31'S; 71°38'W), 20 km al norte del puerto de San Antonio. Las algas que se utilizaron para este estudio fueron colectadas entre 4 y 6 m de profundidad en la Playa Changas (Coquimbo), transportadas al laboratorio costero y aclimatadas a las condiciones del lugar.

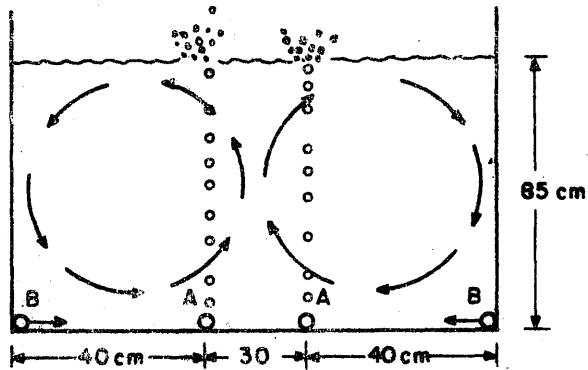
1.1 Ciclo anual de producción en cultivos continuados

Para este estudio se usaron estanques rectangulares de fibra de vidrio de 1 m³ de volumen al aire libre, habilitados para aducción de agua, aire y CO₂ con desagüe a través de cañerías de PVC. En la figura 1 se muestra un detalle de los sistemas de adición de CO₂, aire y la circulación generada por este último en cada unidad de cultivo.

ESQUEMA GENERAL DE LA UNIDAD DE CULTIVO



ESQUEMA DE MOVIMIENTO DE *Gracilaria* EN ESTANQUE



CORTE TRANSVERSAL

A : Cañerías de aire

B : Cañerías de agua + CO₂

Fig. 1 Esquemas de los sistemas de adición de CO₂ y aire usados en los estanques experimentales y de la celda de circulación generada por el burbujeo de aire

Se trabajó con una densidad inicial de Gracilaria de 6 kg/m² se efectuaron cambios de agua y cosechas cada 15 días, los nutrientes se incorporaron durante la noche.

Se controló la velocidad y flujo de agua, distribución de aire, cantidad diaria de burbujeo, adición y niveles de CO₂, rangos de pH, entre los factores más relevantes.

Para efectuar un control efectivo de epífitos se usó tres métodos alternativos (limpieza a mano, recubrimiento de las unidades con plástico, tratamiento con cloro comercial).

1.2 Evaluación experimental de factores ecológicos

En forma simultánea a los experimentos descritos anteriormente, se realizaron evaluaciones de los efectos de distintos factores ecológicos sobre el crecimiento de Gracilaria, para incrementar los valores de producción a lo largo del año. Los factores que se probaron fueron, densidad inicial del inóculo, recambio de agua, salinidad, adición de nutrientes, aireación, niveles de CO₂ y control de epífitos. Los experimentos se realizaron variando un factor a la vez y dejando el resto constante.

De cada una de las experiencias realizadas se hizo un análisis de rendimiento y fuerza de gel, en el laboratorio de investigación del Instituto de Fomento Pesquero, con la metodología de Wilkomirsky (1967) modificada por IFOP (1987) (Fig. 2).

Además se tomaron registros de temperatura y radiación, estos últimos se obtuvieron a través del Departamento de Química de la Universidad Federico Santa María de Valparaíso.

Los resultados de todas las experiencias se sometieron a un tratamiento estadístico.

2. Cultivo en praderas artificiales

Esta parte del proyecto se desarrolló en la estación experimental de la Universidad Austral de Chile ubicada en el estuario del río Cariquilda, en la zona de Maullín (41°37'S; 73°26'W). Este río tiene un cauce regular de 3 m de profundidad en promedio. El tipo de marea imperante es semidiurna, con una máxima de 1,86 m. La dirección de la corriente es siempre paralela al eje del río y su velocidad alcanza valores máximos de 0,55 m/seg, siendo menor en el fondo.

2.1 Análisis de aguas

Se efectuó un análisis físico-químico de las aguas durante 21 meses donde se controlaron temperatura, pH, salinidad, dióxido de carbono, carbonatos y bicarbonatos, oxígeno y algunos cationes (Na, Ca, K, Cu, Fe, Zn y Mg). Se hizo un análisis sedimentológico con muestras de distintas profundidades y se midió la tasa de sedimentación.

2.2 Evaluación de técnicas de cultivo

Se probaron diferentes métodos de cultivo y se diseñaron experiencias para evaluar la respuesta del cultivo en términos de producción de biomasa a diferentes artes de siembra y cosecha, altura de poda, frecuencia de cosecha, época y densidad de siembra (Tabla 1).

2.3 Análisis de geles

Las algas cosechadas en los diferentes experimentos fueron procesadas y analizadas en el laboratorio. Se hicieron determinaciones de humedad, impureza, rendimientos y fuerza de gel en el laboratorio de investigación de la División de Tecnología y Economía del Instituto de Fomento Pesquero. La metodología utilizada corresponde a la de Wilkomirsky (1967) modificada por IFOP (1987). La figura 2 muestra los procesos más importantes de obtención del agar.

2.4 Epífitos

En todos los sistemas de siembra aparecieron algas durante el transcurso de la experiencia y éstas fueron cuantificadas.

El diseño experimental para los sistemas de cultivos mencionados, corresponde a un experimento factorial mixto de orden superior sin repeticiones. Los datos de producción fueron sometidos a un análisis de varianza multifactorial. Se hizo un test de regresión múltiple y de correlación simple para relacionar la biomasa producida, sobrevivencia y factores físico-químicos.

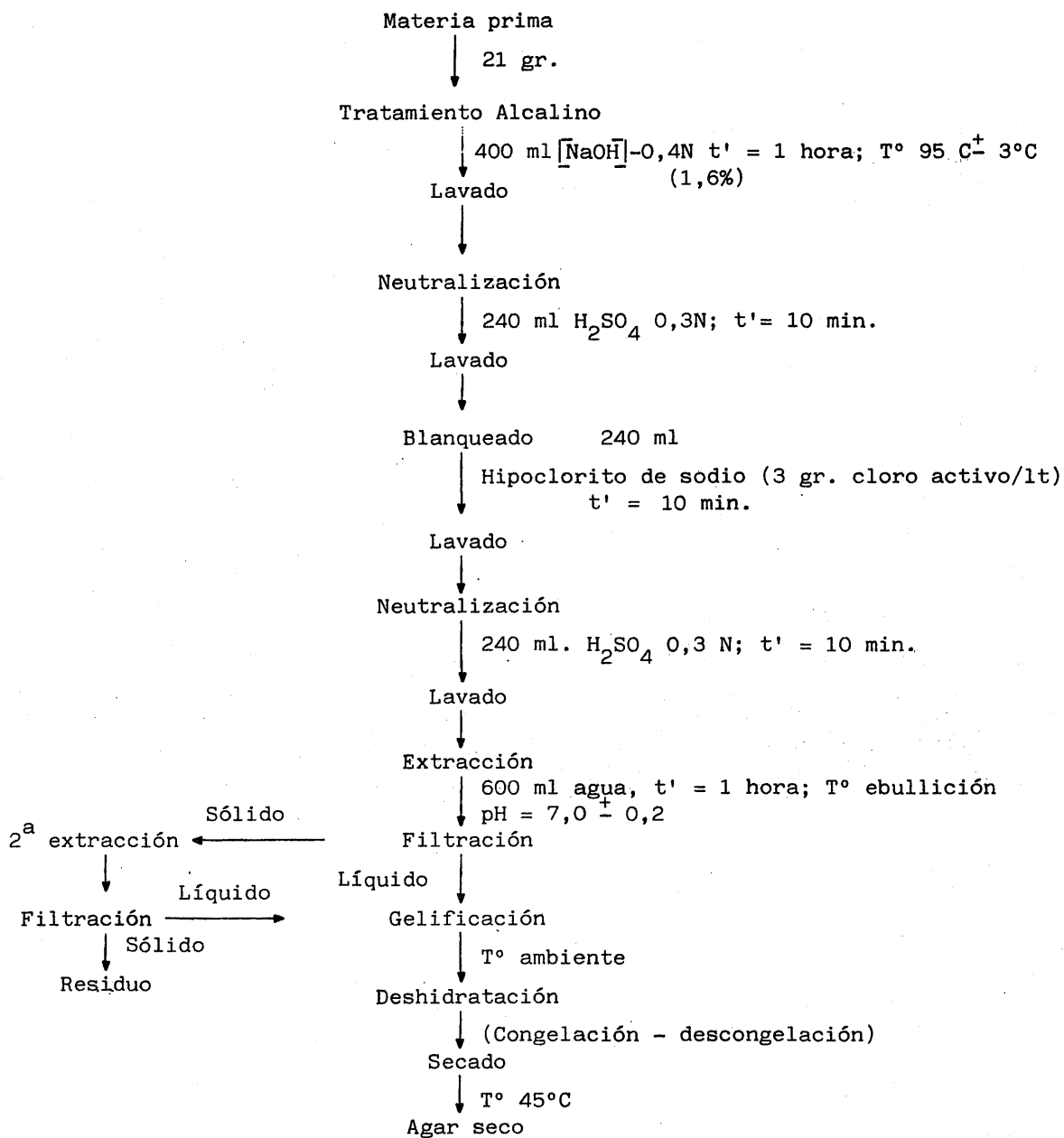


Fig. 2 Diagrama de flujo base para la obtención de agar a nivel de laboratorio de investigación

Tabla 1

Diseño de experiencias para evaluación de técnicas de cultivo

Técnica de siembra	Densidad inicial kg/m ²	Longitud plantas (cm)	Altura de poda (cm)	Arte de poda	Frecuencia de cosecha	Distancia	Ambiente	Epoca de siembra				
Plantado directo	1,25 (paquetes 50 g c/u)	-	10 y 20	Mano cuchillo	1, 2, 3, 4, 5 y 6 meses	Paquetes se distribuyen homogéneamente en 1 m ²	Intermareal Submareal	Dic.-jul. (Réplicas* todos los meses) Todos los meses				
Cuerdas (Fig. 3a)	1,2 (paquetes de 100 g c/u)	40	20	↓	↓	50 cm entre cuerdas	↓	↓				
	0,6 (paquetes de 100 g c/u)	40	20			50 cm entre cuerdas						
Mangas de polietileno (Fig. 3b)	1,2 (paquetes 200 g c/u)	60	20 y 30			↓			↓	50 cm entre mangas	↓	↓
	0,6 (paquetes 200 g c/u)	60	20 y 30							100 cm entre mangas		

(*) Réplicas: Se efectuaron nuevas plantaciones mes a mes para repetir las experiencias en las diferentes épocas del año

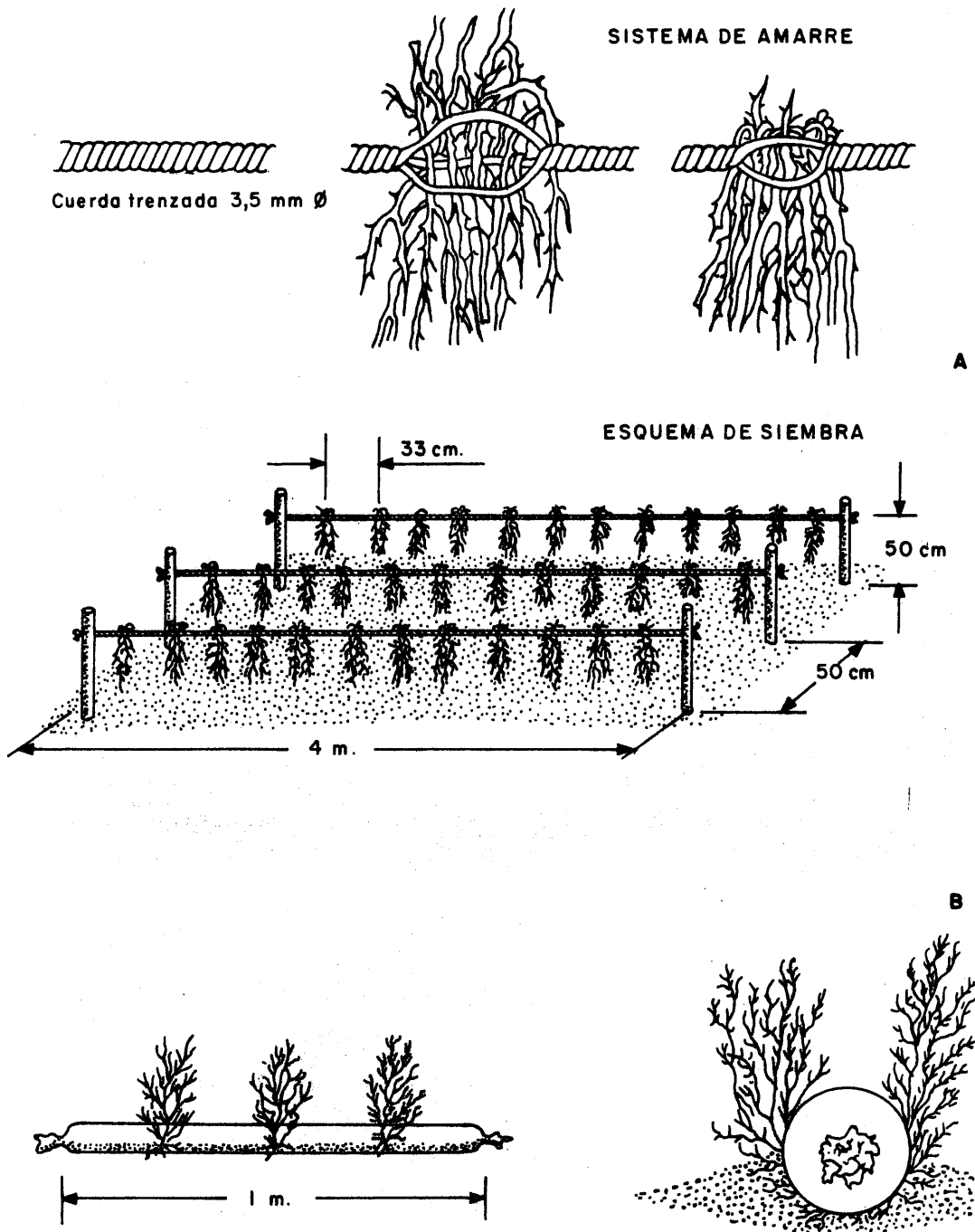


Fig. 3 Esquema de siembras con sistema de cuerdas (A) y sistema de mangas de polietileno, "chululos" (B)

3. Cultivo de cepas

Las experiencias se desarrollaron en los laboratorios de ambiente controlado de Santiago y en la estación costera de Investigaciones Marinas de Las Cruces (P. Universidad Católica de Chile). Las algas utilizadas se colectaron entre 1 y 6 m de profundidad en las praderas de Isla Santa María en Antofagasta (23°56'S; 70°25'W), Playa Changas en coquimbo (29°56'S; 71°21'W), Bahía San Vicente en Concepción (36°44'S; 73°08'W) y Maullín, Puerto Montt (41°37'S; 73°36'W). Estas se transportaron en cajas refrigeradas y luego se aclimataron por un tiempo antes de iniciar las experiencias.

Para estudiar los efectos de factores como irradiación, fotoperíodo y salinidad, se usaron diferentes rangos. Los experimentos duraron entre 30-35 días y se usó medio de cultivo que se renovó semanalmente.

Para comparar la resistencia a la abrasión por arena, los talos se incubaron en matraces con arena que se instalaron en un agitador orbital junior, esta experiencia duró 50 días. Para medir la capacidad para crecer de talos que permanecieron enterrados por un tiempo. Estos fueron expuesto a la luz luego del enterramiento y cultivados en condiciones óptimas establecidas de luz, temperatura y fotoperíodo.

Para medir el grado resistencia a la infección por epífitos, se usaron esporas de algas verdes (Enteromorpha, Ulva) y trozos

reproductivas de algas pardas (Ectocarpus). Esta experiencia tuvo una duración de 30 días.

El crecimiento en todos los experimentos se evaluó en base a diferencias en el peso.

Las respuestas de las cuatro poblaciones a cultivo en estanques se evaluaron, incubando 250 gramos de cada una de ellas en estanques de 50 litros, con condiciones constantes de burbujeo, CO₂ (1/día), nutrientes y renovación de agua. Este experimento se repitió en dos épocas del año con diferentes condiciones de luz. Se pesó la biomasa de cada uno de los estanques y se cosechó el excedente al inóculo inicial.

4. Manejo y recomendaciones para el cultivo de Gracilaria en el sur de Chile

Para la selección de la técnica de cultivo más apropiada se entrega una descripción detalladas de cada una de las técnicas probadas. Se entregan antecedentes técnicos sobre el tipo de sustrato, siembra y de las ventajas y desventajas del sistemas que se selecciona, este estudio estuvo a cargo de la Universidad Austral de Chile (Manual de Cultivo).

B. APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL: OBTENCION DE AGAR EN LABORATORIO TECNOLÓGICO, PLANTA PILOTO Y ESTABILIAACION DEL ALGA COMO MATERIA PRIMA

1. Laboratorio tecnológico

Para determinar las condiciones óptimas de las diferentes variables en la extracción de agar y aplicación de condiciones diferentes al esquema tradicional se efectuaron experiencias a nivel de laboratorio tecnológico. Estas se llevaron a cabo en las instalaciones del Instituto de Fomento Pesquero. Esta información permitirá en una etapa posterior, pruebas de mayor tamaño a nivel de Planta Piloto.

Para el estudio de laboratorio tecnológico se utilizó Gracilaria sp. proveniente de una pradera natural, ubicada en el río Pudeto (X Región) del período invierno-primavera, 1987. Esta materia prima se estandarizó mediante lavado, secado y almacenamiento.

La metodología utilizada correspondió a la técnica aplicada en el laboratorio de investigación del IFOP, ésta se estandarizó para contar con una técnica base para la determinación de variables críticas en la obtención del agar. En la figura 2 se presenta el esquema base del método aplicado.

En la determinación de las condiciones óptimas, se consideró las etapas de tratamiento alcalino y de extracción de agar por ser las de mayor interés respecto a sus variables críticas, para lo cual se seleccionaron los siguientes rangos a estudiar.

Tratamiento alcalino

<u>Variables:</u> - Temperatura	= 93 _± 3°C
- Concentración de NaOH	= 1,6; 3,0; 5,0 y 10%
- Tiempo	= 1, 2 y 3 horas
- Relación líquido/sólido	= 19/1; 25/1; 30/1; 40/1

Extracción de agar

Variables: - Temperatura	= 93 ± 3°C
- Tiempo	= 0,5; 1,0; 2,0 y 3,0 horas
- Relación líquido/sólido	= 20/1; 25/1; 30; 35/1
- pH	= 6,2; 6,6; 7,0; 7,4

Los resultados de dicho estudio, se evaluaron en términos de rendimiento, fuerza de gel e I.F.G. (Fuerza de gel X rendimiento) y como criterio de estudio se asumió la determinación del valor óptimo de cada variable, modificando en forma correlativa el método base utilizado.

Adicionalmente se aplicaron otras tecnologías que según referencia bibliográfica, aumentarían el rendimiento y/o fuerza de gel por sobre aquellos obtenidos con el proceso adicional, tales como tratamiento ácido y aplicación de enzimas.

El tratamiento ácido se efectuó con HCL (0,1N) y H₂SO₄ (1 N; 0,1 N; 0,005 N); a una temperatura de 17°C ± 3°C posterior al tratamiento alcalino y previo a la extracción de agar.

El estudio enzimático, se llevó a cabo con enzimas ceclulasa "NOVO", en base a las especificaciones técnicas, previas al tratamiento alcalino.

Los parámetros óptimos definidos previamente para la obtención de agar, fueron aplicados a algas provenientes de praderas (Mejillones, Talcahuano y Maullín) de una misma estación, con el fin de conocer su comportamiento en términos de rendimiento y fuerza de gel. Adicionalmente, esta metodología se aplicó a algas provenientes de los cultivos experimentales efectuados por la Universidad Austral y por la Universidad Católica de Chile.

En forma referencial, las muestras provenientes de las diferentes praderas del período verano-otoño, fueron sometidas a diferentes análisis: humedad, proteínas, cenizas y fibras, el contenido de azúcar reductor se determinó por diferencia.

El laboratorio tecnológico sirvió de contraste para las actividades efectuadas a nivel de planta piloto.

2. Planta piloto

Con el fin de proyectar el proceso de obtención de agar a una escala de mayor producción y optimizarlo en relación a las variables obtenidas a nivel de laboratorio tecnológico se efectuó un escalamiento a nivel de planta piloto en 750 veces.

El montaje de la planta piloto se efectuó en base a equipos disponibles en el Instituto de Fomento Pesquero y a equipos que fue necesario diseñar y fabricar. El proceso estuvo basado principalmente en el método de prensado.

La materia prima utilizada fue alga Gracilaria originaria de Río Pudeto, X Región (segundo corte) correspondiente a cosechas del período otoño-invierno. Previo a su uso, las algas fueron semilavadas y deshidratadas en secador artificial hasta dejarlas con una humedad que permitió su almacenamiento.

En general, el agar obtenido en planta piloto se evaluó en términos de rendimiento, fuerza de gel y color.

Posterior a la puesta en marcha de la planta piloto, se efectuó como primer set de experiencias la reproducción de variables óptimas, previamente determinadas en laboratorio tecnológico.

El escalamiento de variables se efectuó en relación a las etapas de procesos clasificándose en aquellas escalables y no escalables. Como criterio de trabajo, se modificó la variable en estudio, permaneciendo el resto constante. A continuación se entregan los rangos estudiados principalmente para las variables no escalables; las variables escalables no deberían sufrir modificaciones, por lo tanto los valores se mantuvieron constantes respecto a laboratorio tecnológico, a excepción de la concentración de NaOH, dada su importancia en el proceso de obtención de agar.

Tratamiento alcalino

Variables no escalables:

- Tiempo = 3,5; 4,0 horas
- Relación líquido/ácido = 30/1

Variables escalables

- Concentración de NaOH = 2,5; 3,5 y 4,0%
- Temperatura = $93 \pm 3^{\circ}\text{C}$

Extracción

Variables no escalables:

- Tiempo = 1,5; 2,0 horas
- Relación líquido/sólido = 35/1

Variables escalables

- Temperatura = $93 \pm 3^{\circ}\text{C}$
- pH = $7,0 \pm 0,2$

La optimización de insumos, tuvo como objetivo reutilizar especialmente la soda dada la incidencia en el costo de proceso. Asimismo se planteó reutilizar el cloro y optimizar el blanqueo de las algas tratadas con soda reutilizada.

La comparación del método de prensado versus congelado se llevó a cabo diferenciando el sistema de deshidratación; el prensado se efectuó a presión variable y el congelado a -15 y -25°C , por 24 y 48 horas. El producto obtenido fue evaluado en términos de fuerza de gel y color. Independiente de este estudio, se profundizó en el sistema de prensado por ser ampliamente recomendado para gales de Gracilaria, obteniendo las curvas de deshidratado y velocidad de deshidratado a presión constante y presión variable.

En forma preliminar, se estudió la relación existente entre el grado de molienda de agar seco, respecto a la fuerza de gel.

Al igual que en laboratorio tecnológico se efectuó el tratamiento enzimático a nivel piloto con enzima celulosa "NOVO".

Con el fin de evaluar la metodología de planta piloto aplicando dos horas de extracción, se procesó alga proveniente de las praderas de Mejillones, Talcahuano y Maullín. El agar obtenido con algas de Maullín, se evaluó respecto a dos muestras de agar comercial según las especificaciones de la norma japonesa. Esta caracterización incluye, determinación de color, fuerza de gel, contenido de humedad, proteína, sólidos insolubles en agua caliente y cenizas.

3. Cinética de secado e isothermas de sorción

El objetivo de este estudio es obtener alga Gracilaria seca de alto valor comercial, mediante la conservación de sus principales componentes naturales.

El estudio de secado consistió en la elaboración de las curvas de secado de algas semisecas, con impurezas (secadas previamente en playa) y en la obtención de las curvas de velocidad de secado en función de las siguientes variables de operación:

<u>Variable</u>	<u>Rango</u>
- Temperatura (°C)	= 60; 80; 90 y 110
- Velocidad del aire (m/seg)	= 2; 3; 4 y 6
- Espesor de lecho (cm)	= 2; 3; 5

El alga seca correspondiente a cada curva se analizó químicamente de manera de determinar el efecto sobre la calidad del agar. Por lo tanto, las curvas de secado, permitirán definir técnicamente, las condiciones más adecuadas del secado de Gracilaria semi-seca, de manera de minimizar el deterioro del ficolóide. La materia prima, era originaria de Ancud, del período noviembre-enero, 1987-1988.

El abastecimiento de la materia prima semi-seca con una humedad del orden del 40-60%, se efectuó en forma periódica cada 10 días, esta frecuencia fue previamente definida en base a un estudio de almacenamiento.

Se determinaron las isotermas de sorción para 6 y 25°C para rangos de humedades relativas de 20 a 90°C y mediante el "Método Estático". Se utilizó materia prima con una humedad del orden del 13%. Las isotermas de sorción, permitirán optimizar

las condiciones de almacenamiento, de manera de estabilizar el alga seca como materia prima, con el fin que conserve su calidad, posterior al proceso de secado.

C. ANTECEDENTES ECONOMICOS

1. Evaluación económica de los módulos de producción

Las diferentes alternativas a evaluar se generaron a partir de:

- a) Lugar de cultivo: estanque o pradera
- b) Técnica de siembra
- c) Técnica de cosecha

Aparte de las alternativas técnicamente factibles, es decir, donde el método de cultivo cumple con requerimientos operacionales de productividad y de sobrevivencia, se generaron otras según el tamaño del cultivo.

2. Supuestos y limitaciones

- a) La evaluación utiliza resultados de producción obtenidos en forma experimental, en el caso de praderas artificiales, y teóricos en el caso de ambiente controlado, (cultivo en estanques), pudiendo existir diferencias con respecto a cultivos realizados en forma comercial.
- b) La evaluación pretende comparar y seleccionar técnicas más que mostrar índices de rentabilidad.

3. Criterios de evaluación

- a) El estudio supone una evaluación privada, por lo que no se consideraron costos ni beneficios sociales.

- b) Dado que el proyecto no está dirigido a un inversionista en particular, se considerará el perfil de proyecto puro, no contemplando otras alternativas de financiamiento.
- c) Se considera un horizonte de 10 años con reinversión cada cuatro años en equipos y cada tres en plantas.
- d) La tasa de descuento aplicada al proyecto es del 12% anual, la cual será tomada sólo como referencia pues los resultados se presentarán en función de la tasa.
- e) Se utiliza la unidad de fomento (UF) como unidad monetaria. La conversión utilizada es:

$$1 \text{ UF} = 4.300 \text{ pesos (agosto 1988)}$$

- f) Los indicadores de rentabilidad a emplear son el Valor Actualizado Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), el período de Recuperación del Capital (PRC) y la razón VAN/Inversión.

RESULTADOS Y DISCUSION

A. DESARROLLO DE CULTIVOS Y TECNICAS UTILIZADAS

1. Cultivo en estanques

1.1 Ciclo anual de producción en cultivos continuos

El ciclo anual de producción de Gracilaria en los cultivos continuados se muestra en la figura 4. Con una densidad inicial de 6 kg/m^{-2} este sistema produjo 4.11 kilos de alga seca al año (Tabla 2) lo que equivale a 11.3 gramos de peso seco diarios. Este patrón muestra que si bien hay producción todo el año, es máxima en verano ($100 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ alga húmeda), y mínima en invierno ($10 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$). Los valores de crecimiento en primavera y verano (1987) se vieron disminuidos debido a una invasión de epífitos. Los sucesivos tratamientos para eliminarlos producen daño en los ápices de crecimiento de Gracilaria, lo que tiene un efecto negativo sobre la producción.

El epifitismo constituyó el principal problema en estos cultivos. De los sistemas de control probados (limpieza a mano, oscuridad y tratamiento con cloro), resultó más adecuado pretratar el agua antes de hacerla llegar al medio de cultivo, que tratar de reducir selectivamente las pestes y epífitos en presencia de Gracilaria. Los géneros más frecuentes que invadieron los cultivos fueron Enteromorpha, Ectocarpus y Ulva. Todos los tratamientos implican en mayor o menor grado una reducción en la producción de Gracilaria que bajo ciertos

PRODUCCION DE *Gracilaria* EN CULTIVOS CONTINUOS

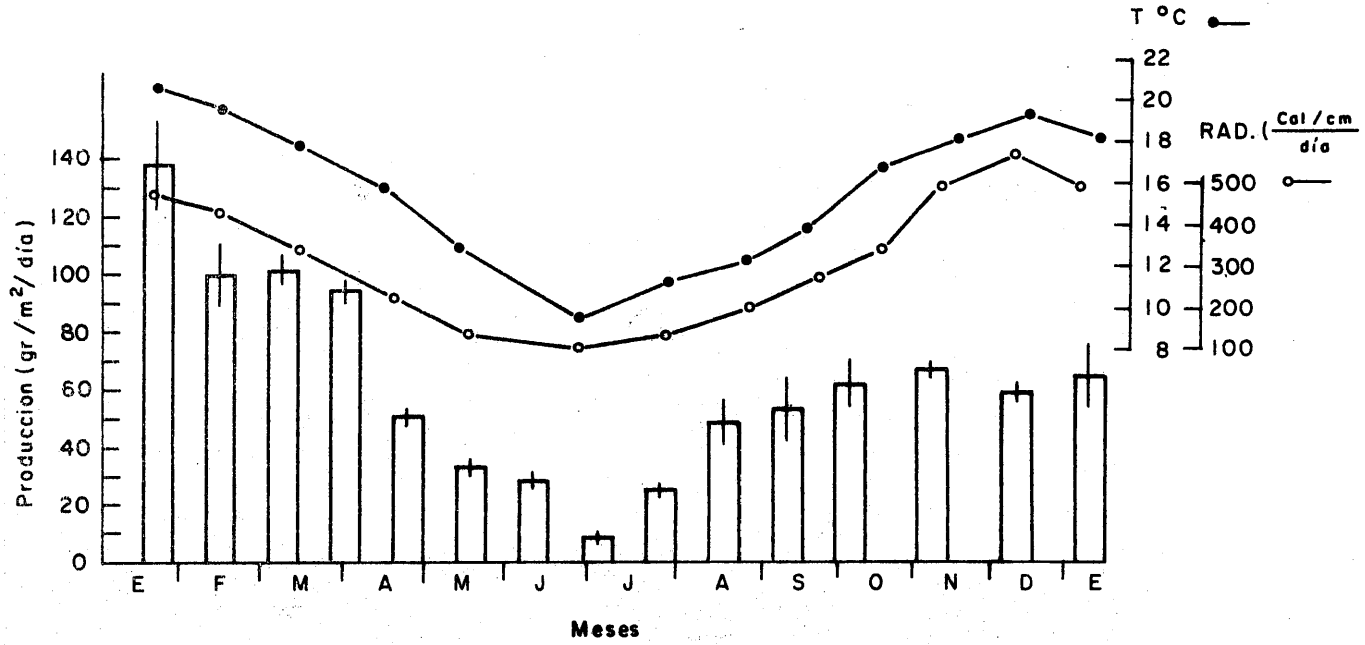


Fig. 4 Valores de producción de *Gracilaria* en los estanques de cultivo continuo, en función de las variaciones temporales de luz y temperatura. El experimento se realizó durante 1987 y los valores corresponden a peso húmedo

Tabla 2

Valores de producción de biomasa (g de peso seco) y de agar de Gracilaria en función de la variación estacional de luz y temperatura en los cultivos en estanques

M e s		Radiación (cal/cm ² /día)	Temperatura (°C)	Consumo CO ₂ (Kg/m ² /mes)	Producción (g/m ² /mes)	Rendimiento agar (%)	Gel producido (g/m ² /mes)	Fuerza de gel (g/cm ²)
Enero	1987	481	21	0,60	723,3	18,0	130,1	100
Febrero	1987	458	20	0,60	537,3	26,2	118,7	425
Marzo	1987	358	18	0,60	553,6	30,6	169,4	182
Abril	1987	287	16	0,45	398,2	25,1	90,4	158
Mayo	1987	170	14	0,45	158,2	31,6	50,0	182
Junio	1987	161	11	0,21	45,3	29,3	13,3	123
Julio	1987	126	9	0,21	141,8	34,8	49,4	282
Agosto	1987	204	12	0,21	260,2	34,2	89,0	377
Septiembre	1987	302	14	0,45	333,8	29,0	104,0	281
Octubre	1987	369	17	0,45	309,3	33,5	103,6	113
Noviembre	1987	504	17	0,45	344,7	33,8	116,5	205
Diciembre	1987	507	18	0,45	308,4	23,4	72,1	153
T o t a l					4.114,1	1.106,5		

tratamientos puede llegar a ser cercana al 40%. El comportamiento de los epífitos es estacional y en el invierno disminuyen notablemente.

El análisis de rendimiento de geles indica que hay un incremento significativo especialmente en los meses de menor crecimiento (Fig. 5). A excepción del mes de enero, el contenido de geles varió entre un 23 y 34% y la producción total de agar fue de 1.106 kg m^2 . Los valores de fuerza de gel oscilaron ampliamente y no guardaron relación con la variación estacional de luz y temperatura ni con el crecimiento de Gracilaria.

1.2 Evaluación experimental de factores ecológicos

El análisis experimental del efecto de factores ecológicos indicó que la producción se puede incrementar variando algunos de estos factores.

Los resultados experimentales sugieren la necesidad de diseñar dos estrategias distintas de cultivo para estaciones de alta y baja productividad. Esto permitiría reducir los costos de los cultivos de invierno y aumentar la producción. En primavera la producción de los cultivos iniciados con 4 kg/m^2 fue significativamente superior al resto (Fig. 6), en octubre alcanzó valores de $100 \text{ g/m}^2/\text{día}^{-1}$. Desde noviembre, la densidad de 7 kg/m^2 logró la mayor producción $130 \text{ g/m}^2/\text{día}$. Las densidades muy bajas (2 kg/m^2) favorecen la llegada de epífitos y tienen bajo crecimiento.

PRODUCCION DE *Gracilaria* VS RENDIMIENTO DE GELES EN CULTIVO CONTINUO

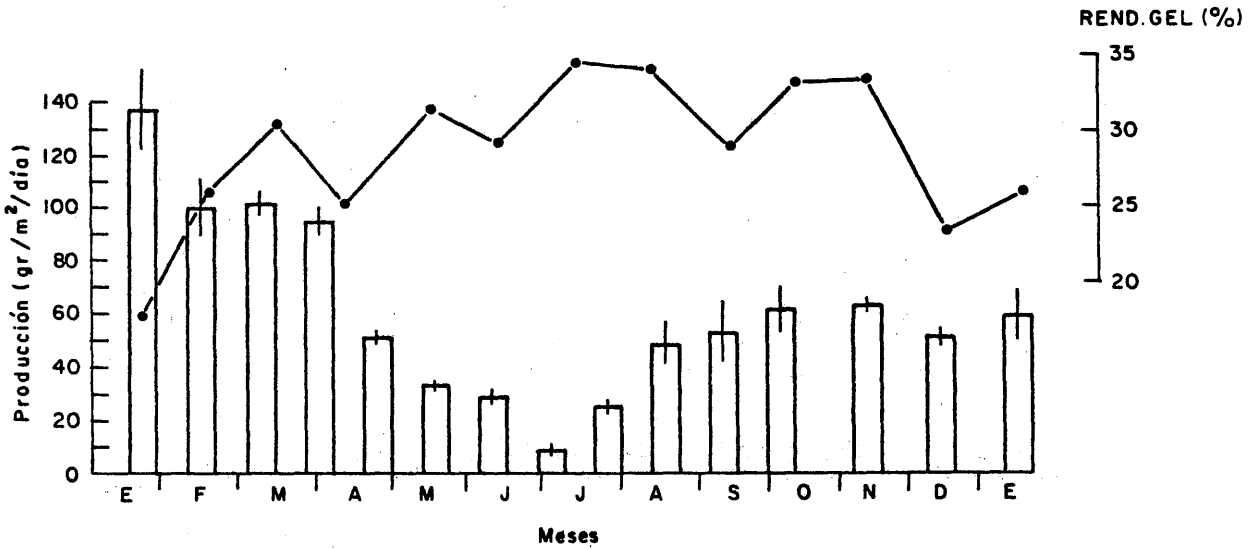


Fig. 5 Variación temporal en la producción de biomasa húmeda y en el rendimiento de agar en los cultivos continuos de Gracilaria en estanques

EFFECTO DENSIDAD DE INOCULO

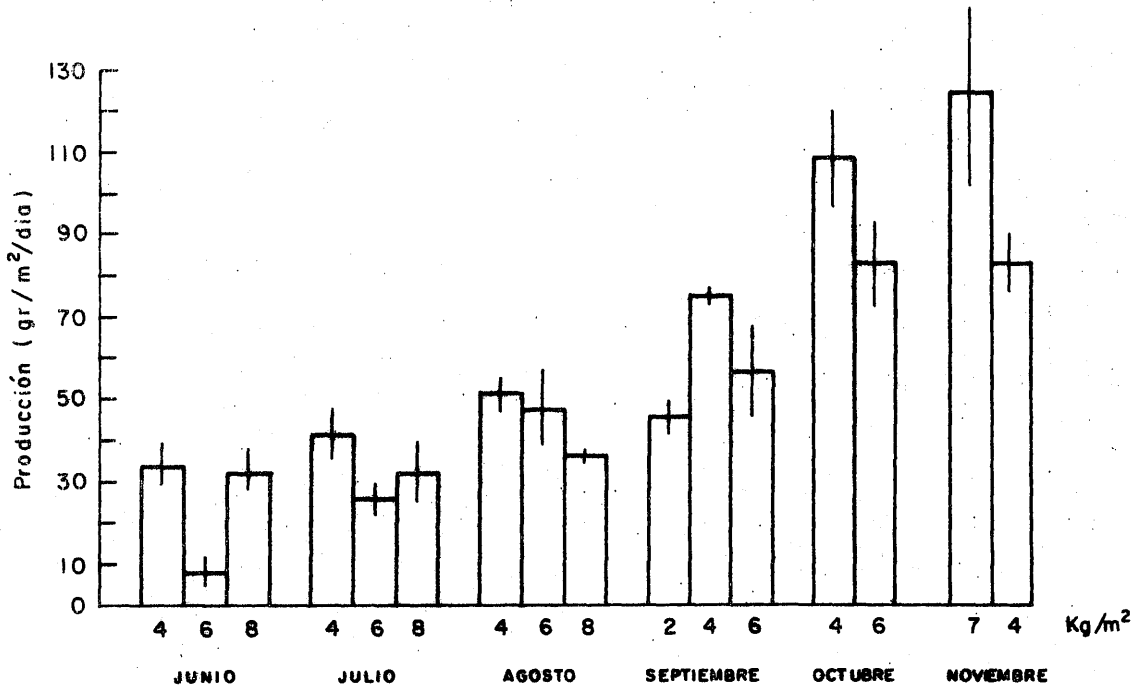


Fig. 6 Efecto de la densidad del inóculo en la producción de Gracilaria en estanques (biomasa húmeda)

La densidad inicial no tiene un efecto claro sobre la producción de geles, ya que, los valores más altos de rendimiento se obtuvieron en la primavera con densidades 6 kg/m^2 (39%), y con 4 kg/m^2 (34%).

Los resultados indican que el número de horas diarias de burbujeo es de singular importancia. Con cinco horas diarias de burbujeo se logra una producción levemente superior, que con 2,5 horas de burbujeo. La reducción de casi un 50% del costo de burbujeo se traduce en una disminución del 15 a 20% de producción. En cambio si se aumenta a 10 horas la producción sube de $63 \text{ g/m}^2/\text{día}$ a $102,5 \text{ g/m}^2/\text{día}^1$. Esta respuesta concuerda con los resultados obtenidos por otros autores con otra especie de Gracilaria. El rendimiento de agar no muestra diferencias significativas entre los distintos tratamientos.

El mayor crecimiento, se produjo durante los primeros siete días en aquellos estanques con máximo recambio de agua, no obstante la renovación constante de agua trae consigo la llegada de epífitos y el crecimiento de Gracilaria se ve muy limitado. De manera que la biomasa producida con un recambio frecuente es similar a aquella obtenida luego de 3 semanas de cultivo sin recambio.

De acuerdo a los resultados experimentales, una salinidad de 20% resulta en una mayor velocidad de crecimiento que, una de 35%. En cambio si se aumenta la concentración de N la velocidad de crecimiento no incrementa significativamente, sin embargo, se observó que el color de las plantas cultivadas cambia, se oscurece.

Los valores de pH se mantuvieron dentro de los valores óptimos, sólo durante las 3 horas siguientes a la inyección de CO_2 . La reducción del CO_2 en el cultivo disminuye en un 30% la producción de Gracilaria. En la Tabla 3 se resumen las condiciones óptimas de cultivo continuado de Gracilaria en estanque de 1 m^2 .

2. Cultivo en praderas artificiales

Como se mencionó en el capítulo anterior las experiencias para técnicas de cultivo en praderas artificiales se efectuaron en el río Cariquilda, X Región. A continuación se entregan algunas de las características físico-químicas del área de estudio.

2.1 Análisis físico químico de las aguas

El río Cariquilda presenta un ciclo estacional de temperaturas, donde en invierno es de 10°C y en verano alcanza alrededor de 20°C . La salinidad tiende a disminuir en invierno y aumenta hacia el verano.

Los valores de O_2 , HCO_3 y CO_2 muestran fuertes fluctuaciones en el sector estudiado, pero se ajustan claramente a los rangos reportados en la literatura para aguas estuarinas. El factor pH osciló en un rango entre 6,5-8,0 encontrándose una mayor acidez del agua durante los meses invernales. Los valores de O_2 y HCO_3 se incrementan hacia el verano, en forma antagónica a la cantidad de CO_2 .

Tabla 3

Valores de rendimiento y fuerza de gel en las plantas de Gracilaria sometidas al efecto de distintos factores ambientales

Factor experimental	Niveles experimentales	Rendición de agar (%)	Fuerza de gel (g/cm ²)
Densidad inicial de inóculo	Invierno - densidad baja	14,47	100
	Invierno - densidad alta	17,47	130
	Primavera - densidad baja	33,92	286
	Primavera - Densidad alta	38,74	190
	Verano - Densidad baja	26,39	223
	Verano - Densidad alta	21,13	187
Burbujeo	2,5 horas diarias	26,10	273
	5 horas diarias	26,07	251
	10 horas diarias	27,90	243
Recambio	1 volumen c/15 días	23,01	227
	1,7 volumen diarios	28,95	246
	4 volúmenes diarios	28,29	124
Salinidad	20‰	22,63	322
	35‰	30,71	172
Nutrientes	N : 0,5 g/m ² /día	27,17	299
	N : 1,0 g/m ² /día	32,53	368
CO ₂	0,05 kg CO ₂ /m ² /semana	22,57	221
	0,14 kg CO ₂ /m ² /semana	21,13	187
Control de epifitos	Con cloro	33,92	286
	Sin cloro	38,74	190

La dinámica del agua observada en el río Cariquilda presentó valores que se ajustan a las características de los estuarios del sur de Chile. Durante los períodos de mayor oleaje (invierno) se observó un predominio de vientos con dirección SW. La tasa de sedimentación es mayor en verano debido a la menor turbulencia de las aguas, lo que permite que las partículas en suspensión sedimenten más fácilmente. En invierno, aunque el arrastre de material proveniente de las riberas del río es mayor, la dinámica del oleaje y corrientes impiden una rápida decantación de estas partículas, aumentando como consecuencia la turbidez del río.

2.2 Evaluación de técnicas de cultivo

2.2.1 Productividad plantación directa (*)

Intermareal

Las series I y II sembradas en el intermareal tuvieron una vida útil de 8 meses, ya que posterior a ese período se desprendieron todas las plantas. Este cultivo iniciado en noviembre presentó dos ciclos de alta productividad, uno en diciembre-enero y otro máximo en abril (con promedios de biomasa de 0.3-0.4 kg/m²). La destrucción del sistema experimental se relaciona al pasar el efecto de marejadas y el tipo de sustrato.

(*) La biomasa se expresa en peso húmedo

Submareal

En las series submareales (III, IV, V) no hubo problema de pérdida total de los experimentos, a excepción de la serie III que después de 6 meses de cultivo hubo desprendimientos que se generalizaron a todos los tratamientos y a principios del verano la pérdida de plantas fue total.

En general en las series submareales la mayor producción se centra en dos períodos otoño y primavera-verano. Comparativamente la serie IV dio los mejores resultados. Los valores alcanzados en otoño en la cosecha bimensual son de 5.0 y 6.4 kg/m² con poda a mano y cuchillo respectivamente, en las trimensuales 8,5 y 7,0 kg/m². Con la periodicidad de cosecha 4 y 6 meses la biomasa disminuye.

Al igual que en la productividad, la sobrevivencia de esta serie (IV) fue la más alta del sistema de plantación directa, la mortalidad comienza a producirse después de 9 meses de cultivo, esta serie tuvo un promedio de sobrevivencia del 50%.

Los valores de producción en esta serie prospectados a una hectárea/año superan las 110 t. Si se hace una estimación al 100% de sobrevivencia esta proyección aumenta en forma importante.

Los resultados de la regresión múltiple indican que en conjunto las variables abióticas predicen más del 90% de las variaciones de biomasa.

2.2.2 Productividad del sistema mangas de polietileno

En este sistema con las dos densidades iniciales utilizadas ($0,6$ y $1,2 \text{ kg/m}^2$) se reducen los efectos del desprendimiento. En general la productividad obtenida refleja netamente el efecto estacional, y no el efecto negativo del desprendimiento de talos. A diferencia del sistema de plantación directa, la sobrevivencia de las plantas en el cultivo con mangas de polietileno presenta mayor estabilidad en el tiempo. Los valores máximos de mortalidad llegaron al 50%.

En ambas densidades las cosechas mensuales presentaron dos períodos de mayor producción, otoño y primavera, alrededor de 2 y 3 kg/m^2 , respectivamente.

El rendimiento acumulado centró los valores óptimos en los tratamientos cosechados más frecuentemente (mensuales, bimensuales y trimestrales), ya que en casi todos los casos se superaron los $5 \text{ kg/m}^2/\text{año}$. Si se proyecta a 1 há se alcanzan valores entre 60 y 90 t/año en el caso de densidad inicial de $0,6 \text{ kg/m}^2$ mientras que con una biomasa inicial de $1,2 \text{ kg/m}^2$ supera la 100 t/año .

2.2.3 Productividad del sistema de cuerdas suspendidas

La variación mensual de biomasa producida presentó una marcada estacionalidad en las experiencias realizadas con ambas densidades ($0,6$ y $1,2 \text{ kg/m}^2$). Las épocas de mayor producción corresponden a otoño y primavera, los valores mínimos ($0,35 \text{ kg/m}^2$) ocurren en invierno.

Los rendimientos de producción proyectados a una hectárea indican que con una densidad inicial de $0,6 \text{ kg/m}^2$ se producirían entre 85 y 90 t, mientras que con $1,2 \text{ kg/m}^2$ el volumen se incrementa a 100-123 t/año.

La sobrevivencia en los cultivos de cuerdas es significativamente superior a los otros sistemas probados. Con 0.6 kg/m^2 fluctuó entre 77 y 79% mientras que con 1.2 kg/m^2 aumenta a 90%. En general este comportamiento responde al hecho que estas plantas no están sometidas a la dinámica del fondo.

2.2.4 Réplicas

Los resultados obtenidos en las siembras iniciadas en las diferentes estaciones a lo largo del año mostraron en todos los cultivos una clara estacionalidad en la productividad. La cantidad de biomasa producida dependen de la técnica que se utilice y claramente las tasas de sobrevivencia son mayores en el submareal que en el intermareal. Los períodos de máxima producción son otoño y primavera ya que ésta, decae notablemente en invierno y verano. Se observa que la tasa de sobrevivencia, en aquellos cultivos iniciados en otoño e invierno generalmente presentan tasas más altas en relación a las siembras realizadas en primavera-verano.

2.3 Análisis de geles

Los tres parámetros que fueron considerados para el análisis de geles: porcentaje de humedad, rendimiento de gel y fuerza de gel, manifestaron un comportamiento dinámico a lo largo del estudio. En general estos parámetros tuvieron comportamientos antagónicos.

En los cultivos intermareales los valores más altos de gel se concentran hacia fines del invierno y primavera (sobre 500 g/cm²) tendiendo a disminuir hacia los meses más cálidos. El rendimiento de agar aumenta en los meses de invierno alcanzando valores de sobre el 24%.

En los cultivos submareales el contenido de agar en promedio es levemente inferior al intermareal. El comportamiento del rendimiento y la fuerza de gel es opuesto. En el caso del rendimiento además es dependiente de las variaciones de biomasa y radiación.

En el sistema de mangas de polietileno estos parámetros manifestaron mayores fluctuaciones, en comparación a lo registrado en los demás sistemas. El rendimiento de gel tiene una estacionalidad bien definida, los valores mayores se encuentran en primavera-verano (24%). La fuerza de gel tiende a incrementar hacia finales del invierno (sobre 500 g/m²).

El rendimiento de gel en el sistema de cuerdas suspendidas, presenta valores en primavera que alcanzan a un 26% aproximadamente. Para fuerza de gel los valores más altos se dan en verano (sobre 600 g/cm²).

2.4 Epifitismo

Los resultados del monitoreo de los distintos tratamientos de las series del plantado directo indican la presencia estacional de algunos epífitos. En las series que se ubican en el intermareal o a poca profundidad con cosecha mensual los epífitos aparecen en abril (8,2% de la biomasa de Gracilaria), mientras que, en las submareales, las epífitas se incrementan en el mes de septiembre (4%). Los géneros detectados fueron Ceramium, Polysiphonia, Antithamnion y Ectocarpus principalmente.

En los otros sistemas el comportamiento fue similar, pero comparativamente fue menor el grado de epifitismo en el sistema de mangas de polietileno.

3. Cultivo de cepas

Los resultados de los efectos combinados de radiación y fotoperíodo sobre el crecimiento de las distintas poblaciones de Gracilaria, muestran que, las plantas de Maullín tienen mayor velocidad de crecimiento, seguidas por las de Antofagasta. En general las plantas de Coquimbo tienen bajas velocidades de crecimiento y si se aumenta la intensidad luminosa las plantas de Maullín se ven limitadas en su crecimiento.

Las cuatro poblaciones mostraron un patrón de respuesta similar frente a diferentes condiciones de temperatura, sin embargo en las plantas de Talcahuano se observan velocidades de crecimiento levemente superiores. Si se aumenta la temperatura a

20°C, la velocidad de crecimiento en las plantas de Talcahuano, se incrementa, en cambio en las plantas de Maullín disminuye en forma notoria.

Las poblaciones son capaces de tolerar y crecer en salinidades que van desde 10‰ a 20‰. Maullín, Antofagasta y Talcahuano mostraron velocidades de crecimiento esencialmente similares. Por contraste, la población de Coquimbo, tuvo velocidades de crecimiento significativamente menores que las otras poblaciones.

En las experiencias de efecto de abrasión por arena las plantas de Maullín experimentan diferencias de crecimiento notable en relación a sus controles. De manera que de todas las poblaciones, Maullín aparece como la más sensible a abrasión por arena.

En general las plantas cuando permanecían enterradas por un período prolongado se mantuvieron vivas y crecieron poco, durante los experimentos (Maullín, Talcahuano y Coquimbo). Incluso, en algunos casos hasta perdieron peso. Sin embargo las algas de Antofagasta respondieron diferente ya que crecieron mejor que sus controles.

Los resultados de los experimentos de infestación con epífitos indican que las poblaciones de Coquimbo y Maullín son significativamente más sensibles que las de Antofagasta y Talcahuano, ya que se contaminan en mayor porcentaje.

Cuando se trasladaron las algas a estanques de mayor tamaño se observó que las algas que se mantuvieron descubiertas crecen mejor que aquellas bajo techo y/o malla. Además se observó que las algas de Maullín, se ven afectadas en su crecimiento cuando carecen de suplemento de CO₂.

**B. APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL Y ESTABILIZACION DE ALGAS SECAS
COMO MATERIA PRIMA**

1. Laboratorio tecnológico

1.1 Tratamiento alcalino

El óptimo de las variables, concentración de (NaOH) y tiempo de aplicación del tratamiento con soda, se determinó mediante una combinación de los rangos escogidos.

En la figura 7, se presenta un resumen para las diferentes concentraciones de NaOH para rendimiento y fuerza de gel respectivamente.

En general, se puede observar que se cumple la tendencia reportada en bibliografía la que indica que existe un comportamiento inverso entre el rendimiento de agar y la fuerza de gel; para mayores valores de fuerza de gel se observan menores rendimientos, siendo el mínimo de 23,9% para una fuerza de gel de 819 g/cm^2 .

Para el tiempo de 3 horas, se obtiene el máximo valor de fuerza de gel para una (NaOH) de 3%; a medida que aumenta la (NaOH), disminuye la fuerza de gel. Los mayores rendimientos, se obtienen para el menor tiempo de aplicación del tratamiento con soda; y en general a niveles de 5% de NaOH para los diferentes tiempos. La fuerza de gel, presenta un comportamiento heterogéneo; para 1 hora de tratamiento se obtienen valores bastante bajos y para 2 horas, no se logra alcanzar el óptimo, aún a (NaOH) de 10%, mayores concentraciones podrían aumentar

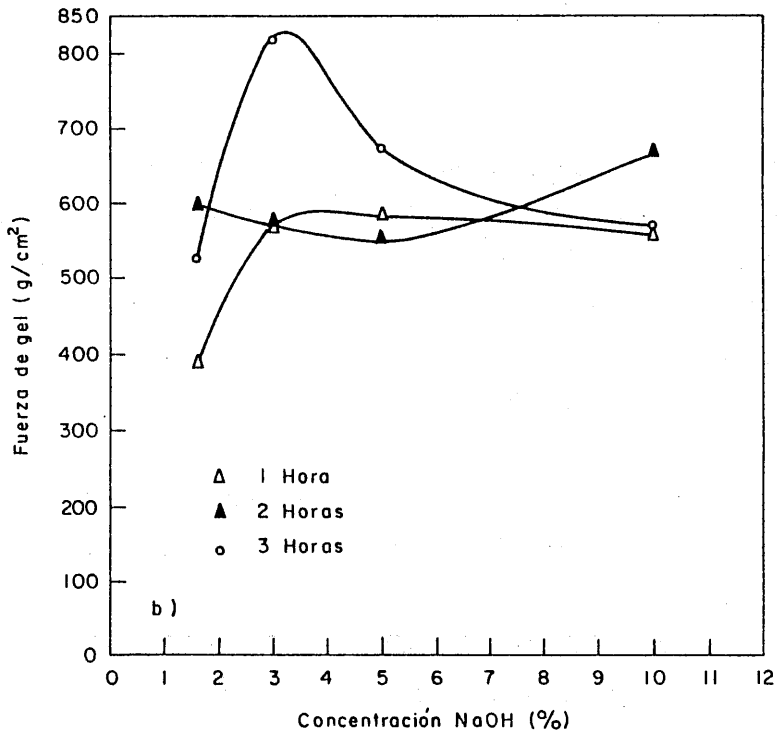
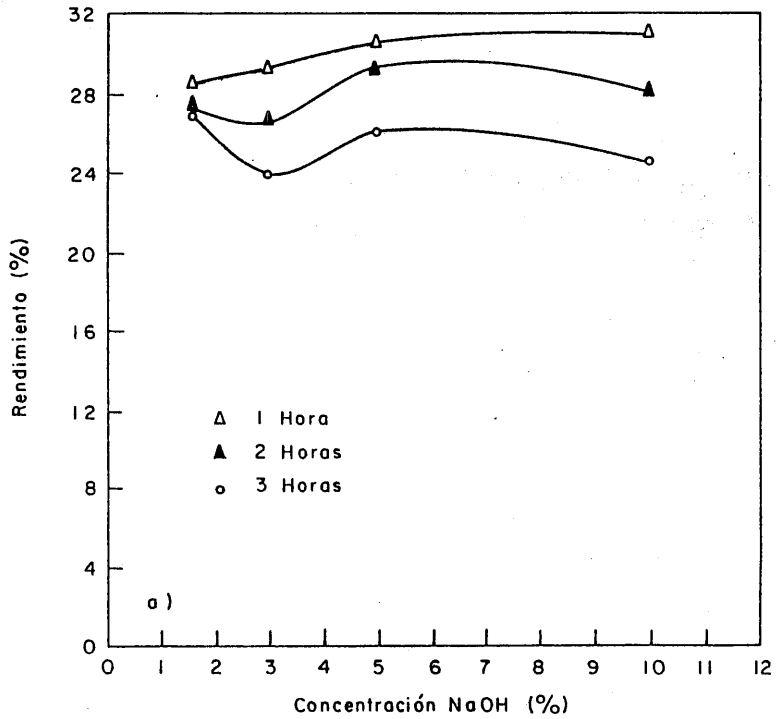


Fig. 7 : Rendimiento y fuerza de gel para diferentes tiempos de tratamiento con NaOH.

a) Rendimiento

b) Fuerza de gel

la fuerza de gel, pero implicaría mayores costos operacionales. En efecto, se puede deducir que el uso de soda en 10% versus 3% aumenta el costo por este ítem en un 233%.

El índice de fuerza de gel (I.F.G.) que conjuga los valores de rendimiento y fuerza de gel para los diferentes tiempos y concentraciones estudiadas, entregó los resultados superiores, para 3 horas y 3% respectivamente.

Finalmente, se puede deducir desde un punto de vista técnico, en base a la fuerza de gel e I.F.G., que los valores óptimos para NaOH y tiempo de tratamiento alcalino corresponden a 3% y a 3 horas respectivamente, para algas provenientes de Río Pudeto; ya que con estos valores se obtiene una fuerza de gel superior a la media comercial de 700 g/cm^2 y un rendimiento de 23,9%. Por concepto de una segunda extracción este rendimiento, se ve incrementado en un 10 a 11%.

Asimismo, desde un punto de vista económico se concluye, que estos valores son los óptimos, ya que para tiempos menores, 2 horas, se requeriría una concentración $\geq 10\%$, lo que implica incurrir en altos costos por concepto de uso de NaOH, el que tiene una incidencia en el costo total de proceso, de aproximadamente un 15 a 20%.

Comercialmente es muy importante conocer la relación existente entre fuerza de gel y rendimiento, en función de la materia prima a usar, ya que ésta es altamente relevante en la calidad del gel a obtener; dicha relación, permitirá determinar las

condiciones adecuadas de proceso, (NaOH) versus tiempo de tratamiento, de manera de obtener las mayores ventajas en términos económicos y de calidad del agar.

Con valores óptimos del tiempo y (NaOH) en el tratamiento alcalino, se determinó la relación L/S óptima, la que correspondió a 25/1. De acuerdo a los resultados, se observó que el rendimiento es dependiente de la relación L/S para 19/1, el máximo valor se obtiene para la relación 25/1 a partir de la cual se mantiene constante; en cambio la fuerza de gel es independiente permaneciendo prácticamente constante para todas las relaciones usadas.

1.2 Extracción de agar

Los resultados para el tiempo de extracción indicaron que para 1 hora se obtiene la mayor fuerza de gel; menores tiempos son insuficientes para extraer una buena calidad de gel y mayores tiempos producen una brusca disminución de la fuerza de gel, probablemente debido a tiempos excesivos de exposición que dañarían la molécula de agar. En cuanto al rendimiento se puede decir que tiempos de 2 y 3 horas producen una mayor extracción de agar, pero de inferior calidad. El I.F.G. (fuerza de gel por rendimiento), optimiza el tiempo de extracción en 1 hora.

El estudio de la relación líquido/sólido en la etapa de extracción muestra que para las relaciones 30/1 y 35/1 los rendimientos son muy similares y superiores a las demás

relaciones analizadas, 20/1 y 25/1. La diferencia existente entre estas relaciones es atribuible a una parcial saturación del solvente siendo más marcada en la relación de 20/1.

Se seleccionó la relación 30/1, ya que la fuerza de gel es levemente superior, I.F.G. muy similar y desde un punto de vista técnico y económico, para un escalamiento a nivel piloto es más recomendable usar la relación 30/1, debido a que el mayor volumen (35/1) requerirá un mayor consumo de agua y por consiguiente existirá una mayor incorporación en el gel, lo que implicará mayores tiempos y gastos por concepto de eliminación de agua en el proceso de obtención de agar en polvo.

Los resultados del estudio del pH en la extracción, indicaron que éste, es independiente del rendimiento, probablemente debido a que no afecta la cantidad del polisacárido a extraer, pero si su calidad, ya que la fuerza de gel presenta una gran dependencia del pH, valores inferiores a $7,0 \pm 0,2$ producen disminución de la fuerza del gel, al igual que valores mayores. Por lo tanto, se deduce que el valor óptimo de la variable pH es $7,0 \pm 0,2$, lo que es concordante con las características propias de la molécula de agarosa, principal componente de las propiedades gelificantes proporcionadas por el agar.

El balance de materiales obtenido, está referido para una base de 20 gramos de alga limpia seca. El rendimiento de agar de la primera extracción fue 27,0% y de la segunda 2,5%, la extracción de la primera etapa corresponde al 91,5% del total de agar extraído, al efectuar una segunda extracción (8,5%) va

a depender de un análisis económico y de las características del agar a obtener en la primera y segunda extracción, el rendimiento en agar crudo con una humedad de 18% fue de 55,5%.

Los resultados obtenidos con la aplicación de otras tecnologías, pretratamiento ácido y tratamiento enzimático, para las algas de Río Pudeto fueron inferiores a los logrados con las condiciones óptimas.

Con el fin de evaluar la metodología de Laboratorio Tecnológico, los parámetros obtenidos, fueron aplicados a algas provenientes de praderas de Mejillones, Talcahuano y Maullín para la obtención de agar y de cultivos experimentales efectuados por las universidades. Los resultados de los rendimientos de las diferentes praderas fueron muy similares y superiores a los obtenidos con algas de los cultivos experimentales; en cambio la fuerza de gel de la materia prima de las praderas fue inferior, encontrándose en los rangos comerciales importantes.

2. Planta piloto

El lay-out de la planta piloto, adecuada en IFOP, donde funcionó el proceso central de obtención de agar, se muestra en la figura 8.

2.1 Escalamiento de las condiciones de laboratorio tecnológico

En primer lugar se realizó una serie de experiencias concernientes a escalar las condiciones óptimas de proceso obtenidas en el laboratorio tecnológico.

Los resultados promedio de este laboratorio fueron superiores a los de planta piloto. El rendimiento obtenido en planta piloto (un 40,5% inferior), podría deberse al hecho que las variables que participan en la obtención de agar no se encuentran optimizadas, hipótesis que se vio confirmada con las experiencias posteriores.

2.2 Optimización de variables de proceso

Posteriormente, para mejorar los rendimientos obtenidos en esta primera etapa se diseñó un conjunto de experiencias destinadas a optimizar las variables de proceso tanto en el tratamiento alcalino como en la extracción de agar.

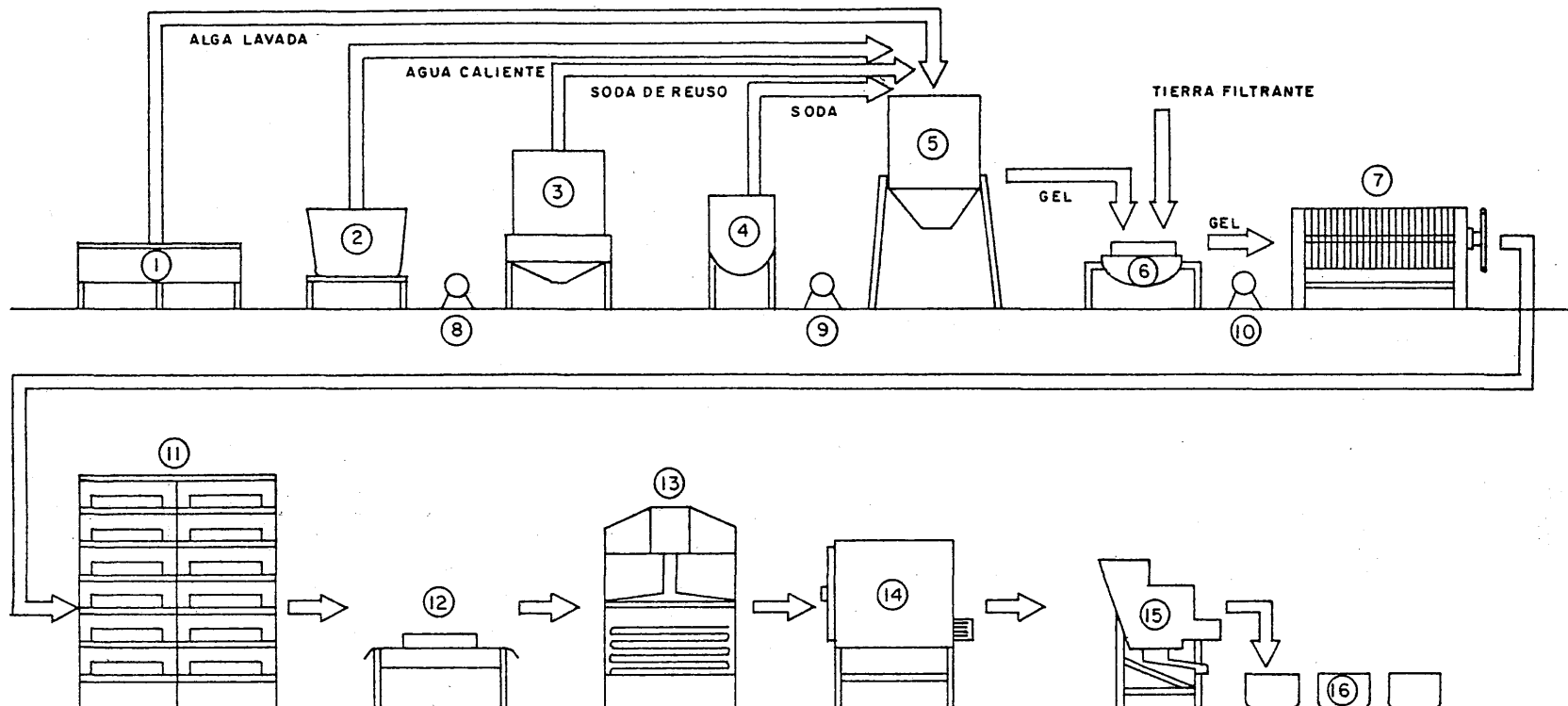
Las variables estudiadas en el tratamiento alcalino fueron:

- Relación líquido/sólido

Los resultados obtenidos fueron claramente superiores para la relación de 30/1, lo que se puede justificar por la mayor homogeneidad de la temperatura y el mayor grado de contacto del alga con la solución.

- Tiempo de tratamiento alcalino

Los valores obtenidos optimizan tanto en rendimiento como la fuerza de gel para el tiempo de 3,5 horas.



- | | |
|--|---------------------------|
| 1 : Estanque lavador de algas | 9 : Bomba de soluciones |
| 2 : Estanque de agua caliente | 10 : Bomba de gel |
| 3 : Estanque de soda de reuso | 11 : Bateas geleficado |
| 4 : Estanque dosificador | 12 : Empaquetado de geles |
| 5 : Estanque tratamientos químicos | 13 : Prensa hidráulica |
| 6 : Estanque dosificador de tierras filtrantes | 14 : Secador |
| 7 : Filtro prensa | 15 : Molienda |
| 8 : Bomba de agua | 16 : Empaque |

Fig. . 8 : Lay out planta piloto.

- Concentración de NaOH

Para una concentración de 3,5% se produce el mayor rendimiento, siendo de un 14,6%. Se determinó esta concentración, como optima en el escalamiento a nivel de planta piloto, aunque significa incrementar el costo de la soda en un 16,7%, respecto al 3,0%.

Las variables estudiadas en la extracción fueron: relación L/S y tiempo de extracción; para este estudio se mantuvo constante la temperatura en $93 \pm 3^{\circ}\text{C}$ y el pH en $7,0 \pm 0,2$ respecto al laboratorio tecnológico.

- Relación líquido/sólido

Se encontró que la relación óptima es 35/1 y que con 2 horas de extracción se produce un incremento importante en rendimiento y fuerza de gel. En la Tabla 4 se entregan los resultados del escalamiento de esta variable.

- Tiempo de extracción

Para el tiempo de 2 horas se produce un incremento importante en rendimiento, fuerza de gel e I.F.G. respecto a 1,0 y 1,5 horas estudiadas en planta piloto.

Tabla 4

Resultados de rendimiento, fuerza de gel e I.F.G. para el escalamiento de la relación L/S en la extracción

Relación L/S (lt/kg)	Rendimiento (%)	Fuerza de gel (g/cm ²)	I.F.G.
30/1	18,5	647	121
35/1	24,7	624	158

2.3 Resumen de los resultados de la optimización de variables a nivel de planta piloto

Los valores determinados como óptimos para cada variable en planta piloto, se compararon respecto al obtenido en el escalamiento de las condiciones de laboratorio tecnológico. Una vez optimizados estos valores fueron confrontados con los obtenidos en laboratorio tecnológico (l.T.). En la Tabla 5, se entregan los resultados de la optimización de cada variable y las referencias utilizadas.

A partir de esta Tabla se puede observar, que el escalamiento de las variables involucradas en el tratamiento alcalino, se produjo un incremento promedio del rendimiento en 12,4% y en la extracción en un 31,4%.

En general, la optimización de variables efectuada en el escalamiento a planta piloto, permitió obtener resultados superiores respecto a los obtenidos en el escalamiento de las condiciones de laboratorio tecnológico.

Por otra parte, también podrían incrementarse los rendimientos con la incorporación de una segunda etapa de extracción, puesto que ocasionalmente se efectuaron segundas extracciones, en las cuales se obtuvo un rendimiento promedio del orden del 3,0% razón por la cual se debería incrementar el rendimiento total obtenido, alcanzando niveles de 26 a 27%.

Los resultados obtenidos en la optimización de variables están en función de la materia prima utilizada, correspondiente a algas de segundo corte, provenientes de Río Pudeto, del

Tabla 5

Resultados de rendimiento, fuerza de gel e I.F.G. de la optimización de variable en el escalamiento a planta piloto

V a r i a b l e	Rendimiento (%)	Fuerza de gel (g/cm ²)	I.F.G.
<u>Tratamiento alcalino</u>			
- Relación L/S : 30/1	22,0	632	139
- Tiempo : 3,5 horas	19,3	655	126
- NaOH : 3,5%	21,2	632	134
<u>Extracción</u>			
- Relación L/S : 35/1	24,7	624	158
- Tiempo : 2 horas	23,9	714	171
Escalamiento L.T. <u>1/</u> a planta piloto (V.E.) <u>2/</u>	18,5	647	121
Laboratorio tecnológico	31,1	707	220

1/ L.T. Laboratorio tecnológico

2/ Valores de escalamiento

período otoño-invierno. El proceso de dicha materia prima fue optimizado en términos de tener una fuerza de gel y un rendimiento de nivel comercial, 700 g/cm² y 25% aproximadamente.

El beneficio obtenido en rendimiento y fuerza de gel en la optimización de las variables a los rangos presentados en la Tabla 5, implican un mayor costo de proceso por concepto de aumento de concentración (esto incrementa el gasto en NaOH en un 16,7%); mayor consumo de agua y energía, por mayores relaciones L/S y tiempos de procesos. En términos de balance de beneficio versus costos, esta optimización técnica resulta positiva con una mayor generación de ingresos neta del orden de un 20,0% considerando precio de venta del agar de US\$ 17,2/kg.

2.4 Optimización de insumos

A partir del estudio de la optimización del uso de la solución de soda, mediante su reutilización, se pudo concluir de un punto de vista técnico que los resultados de rendimiento, fuerza de gel y color son similares a los obtenidos en el tratamiento alcalino con soda de primer uso. De acuerdo a los resultados comparativos, para las experiencias con y sin reutilización de soda, se apreció en forma general pequeñas diferencias en fuerza de gel y rendimiento, siendo más notoria en este último caso, en el cual se obtuvo resultados levemente superiores.

El color se optimizó para la reutilización de soda mediante el aumento del tiempo a 15 minutos y/o incremento de la relación L/S a 20/1.

Desde un punto de vista económico, esta reutilización, implicaría tener un ahorro total por concepto de gasto de soda del orden del 25 a 30%, lo que es importante dado que la incidencia de este insumo en el proceso de obtención de agar es del orden del 18%.

Dado que la reutilización de cloro no entregó un producto estándar en cuanto a color y que la incidencia de este insumo en los costos es poco significativa, no es recomendable la adopción de este procedimiento.

2.5 Comparación del método de congelado versus prensado

Este estudio se efectuó para geles de 0,55% de agar, en ambos métodos de deshidratación, congelación a -15 y -25°C por 24 y 48 horas y prensado a presión variable.

Los resultados obtenidos para las diferentes condiciones de congelado estudiadas, no permitieron determinar diferencias entre ellas.

Al comparar ambos métodos efectuados en este estudio, se puede deducir que la humedad en base seca del producto deshidratado, obtenido por el método de presión, es inferior en un 59,2% al del método de congelación (sin centrifugación).

En la Tabla 6 se entrega una comparación de los métodos de deshidratación aplicados.

Dada las ventajas del método de prensado y que es altamente recomendable para los geles de Gracilaria, se obtuvieron las curvas de deshidratado a presión constante y presión variable.

En general se puede deducir, a partir de las diferentes curvas, la necesidad de iniciar el proceso con presiones bajas y aumentarlas en forma paulatina, en la medida que lo permita la pérdida de agua de gel. Asimismo no pueden deducir los tiempos efectivos de deshidratación racionalizando la aplicación de las diferentes expresiones, de manera de optimizar y hacer más eficiente este sistema de deshidratación por presión.

En la figura 9 se entrega la curva de deshidratado a presión variable.

2.6 Procesamiento de alga provenientes de praderas

En base a los resultados obtenidos ese puede deducir que con la materia prima de Mejillones se obtuvo el mayor rendimiento y la menor fuerza de gel (865 g/cm^2), encontrándose en los rangos comerciales importantes. Con materia prima proveniente de Talcahuano y Maullín el comportamiento fue inverso, obteniendo inferiores rendimientos y mayores fuerza de gel, siendo superiores a 1.100 g/cm^2 . Deduciendo el comportamiento inverso entre rendimiento y fuerza de gel.

Tabla 6

Comparación cualitativa entre el método de deshidratación por
prensado versus congelado

Método de prensado	Método de congelado
< Humedad final	> Humedad final (sin centrifugación)
< Tiempo de proceso	> Tiempo de proceso
- No requiere etapa adicional de centrifugación	- Requiere etapa de centrifugación para obtener menor humedad
- Calidad comparable (color, fuerza de gel)	- Calidad comparable (color, fuerza de gel)
< Costo de proceso	> Costo de proceso

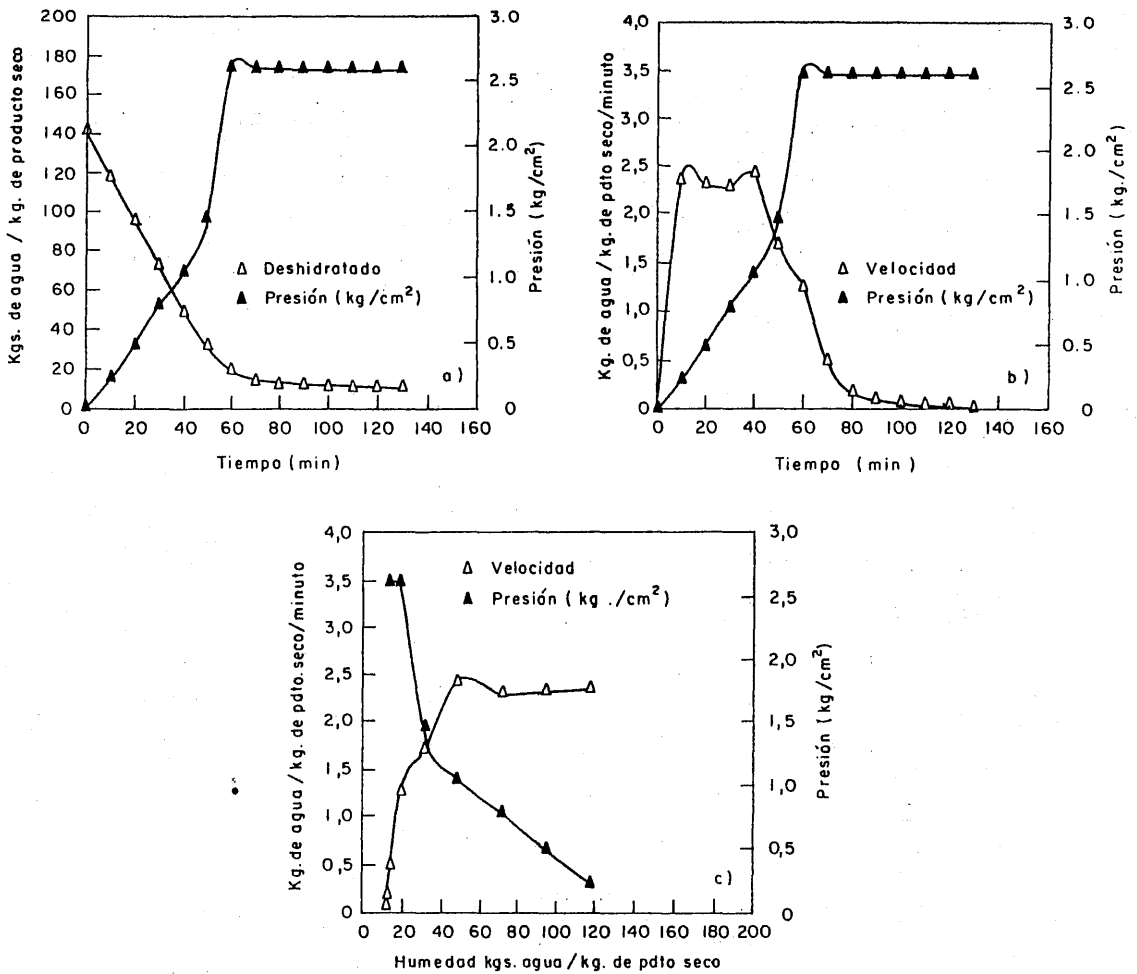


Fig. 9 : Curva de prensado a presión variable.

- a) deshidratado v/s tiempo
- b) velocidad de deshidratado v/s tiempo
- c) velocidad de deshidratado v/s humedad.

De lo anterior se deduce que los valores óptimos de las variables a nivel de planta piloto para las algas provenientes de Río Pudeto, son adecuados para las algas de Mejillones y diferentes a las de Talcahuano y Maullín. Por lo tanto, para procesos industriales se requiere de un conocimiento previo del comportamiento de las algas a menor escala, con el fin de optimizar los valores de rendimiento y fuerza de gel para la materia prima proveniente de distintas praderas, de acuerdo a la estación.

2.7 Balance de materiales

Los resultados del balance fueron obtenidos con algas provenientes de Maullín y están referidos para una base de 10 kg de alga limpia seca.

En la primera extracción se obtuvo un rendimiento de 19,3%; con la segunda extracción, se incrementó este rendimiento en un 15%, correspondiendo a un 2,9% neto. De esta forma se alcanzó un rendimiento total de 22,2% (Fig. 10).

En la figura 11, se entrega el balance de materiales para agar crudo (colagar), el que presentó un rendimiento de 61%. Cabe destacar que actualmente este producto no es fabricado.

2.8 Aplicación de enzima

Los resultados obtenidos con enzima a nivel de planta piloto, permiten deducir de un punto de vista técnico que es factible el uso de enzima celulasa en la obtención de agar.

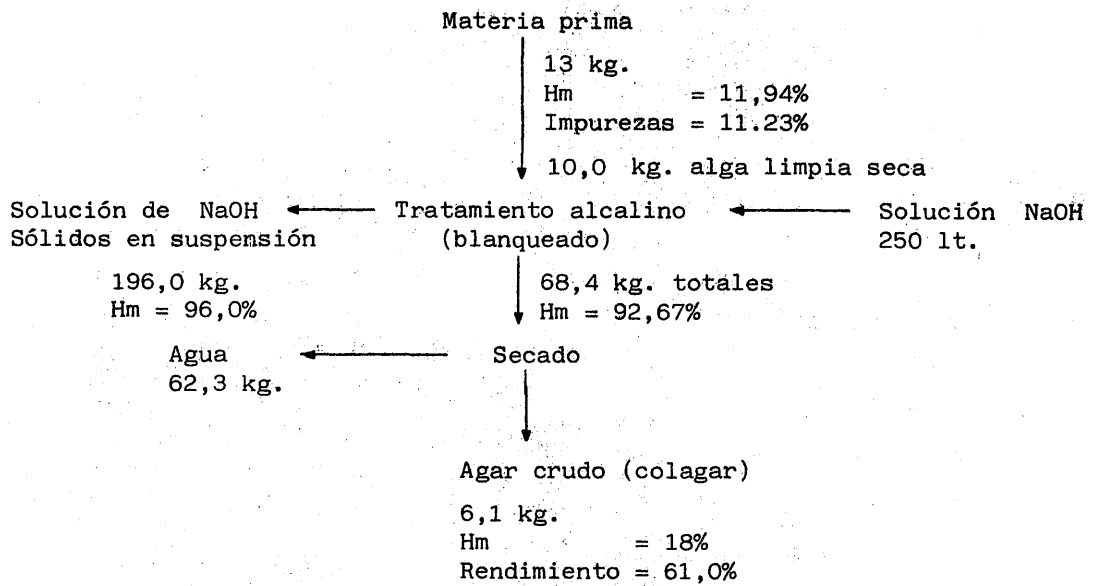


Fig. 10: Balance de materiales para la obtención de agar crudo (colagar) a partir de materia prima proveniente de Maullín

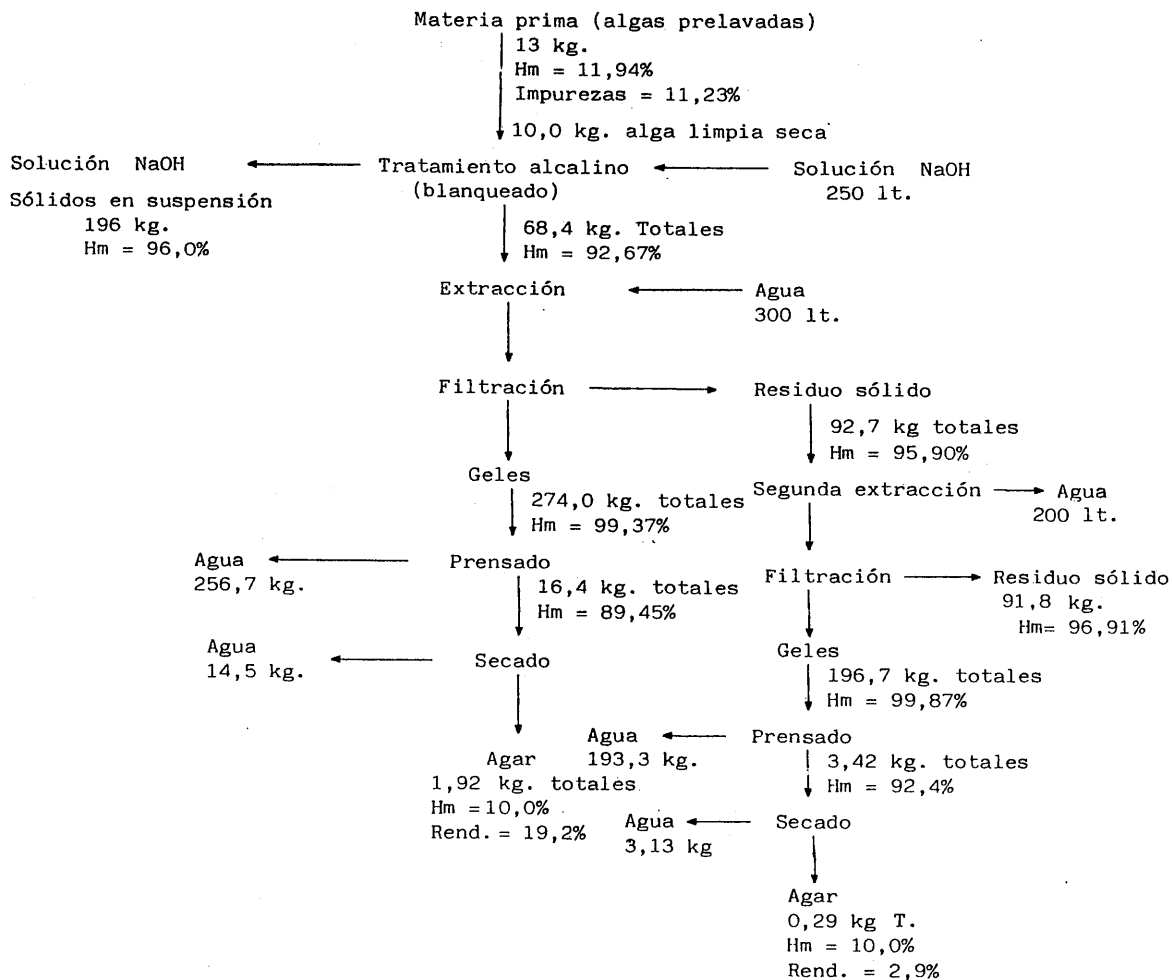


Fig. 11 : Balance de materiales para la obtención de agar a partir de materia prima proveniente de Maullín

Dada la reducción de tiempo y considerando el bajo costo de la enzima, se podría justificar el uso a nivel industrial con el fin de aumentar la capacidad de proceso.

2.9 Comparación del agar obtenido en planta piloto, respecto a agar comercial

El agar obtenido fue evaluado con agar comercial, mediante la determinación de la composición química, fuerza de gel y color. Los productos comerciales de fabricación chilena, presentaron una fuerza de gel declarada de 800 y 1.000 g/cm². En la Tabla 7 se compara en forma conjunta estos índices.

A partir de esta Tabla se desprende que la composición química del agar obtenido en planta piloto, es comparable con el agar comercial siendo los valores obtenidos intermedios entre Chile 1 y Chile 2, a excepción de la humedad y de materias insolubles, que son levemente inferiores.

Por otra parte, los diferentes tipos de agar analizados, se encuentran del grado "Especial", de acuerdo al estándar de Japón.

El hecho que los valores obtenidos en planta piloto, fueron comparables con los del agar comercial, demuestra que la metodología aplicada en planta piloto permite obtener agar de calidad comercial y que podría proyectarse a nivel industrial.

Tabla 7

Composición química y color de agar obtenido en planta piloto y agares comerciales

Agar	C o m p o s i c i ó n q u í m i c a				Fuerza de gel (g/cm ²)	C o l o r	
	Humedad (%)	Proteínas (%)	Cenizas (%)	Materias insolubles (%)		I.R. (%)	Clasificación
Chile-1	15,7	0,43	0,72	0,36	1.000	62,2	5Y 9/1 blanco-lechoso
Chile-2	14,73	0,29	1,44	0,19	800	61,6	5Y 9/1 blanco-lechoso
Planta piloto	11,07	0,34	1,39	0,16	1.100	54,1	5Y 9/1 blanco-lechoso

3. Cinética de secado e isoterma de sorción

Se confeccionó las curvas de secado de algas semi-secas en función de las variables de operación: temperatura, velocidad del aire de secado y espesor de lecho.

La reducción de humedad varió desde 1,7 a 0,2 kg agua/kg de producto seco, valor de humedad final que corresponde a la requerida comercialmente.

Los resultados de las diferentes curvas de secado y la velocidad de secado, fueron analizados del punto de vista de la influencia de las diferentes variables participantes y en base al deterioro sufrido en la calidad del agar obtenido de estas algas.

Según el estudio de cinética de secado realizado, se deduce que las condiciones óptimas de secado de alga semi-seca, con impuerzas es: espesor de 3 cm, velocidad 3 m/seg y temperatura 80°C. En la figura 12 se aprecia la curva de secado que para una humedad de ingreso de 0,8 kg de agua/kg de producto seco, se obtiene el deshidratado comercial a los 40 minutos.

Las altas temperaturas provocan mayores grados de deterioro en la fuerza de gel, siendo del orden del 27% a 110°C y 14% a 90°C; los menores deterioros se obtienen a inferiores temperaturas, siendo menor a 5% para 60°C y del orden de 7,5% a 80°C. Los rendimientos presentaron resultados aleatorios respecto a las diferentes temperaturas.

La velocidad del aire de secado provoca una leve influencia en el deterioro, siendo en general menor a las mayores velocidades estudiadas (4,6; 3,0 y 2,0 m/seg.).

Como resultado del estudio de isotermas de sorción se deduce que las condiciones óptimas de almacenamiento de alga Gracilaria seca estarían dadas para una humedad relativa de 50% y 65% o levemente inferiores, para 6°C y 25°C respectivamente.

C. EVALUACION ECONOMICA

1. Praderas artificiales

1.1 Preselección de alternativas

Para hacer una primera selección de alternativas se calcularon los ingresos menos los costos operacionales, para cada una de ellas. El resultado de este cálculo se muestra en la Tabla 8.

De los resultados es claro que las alternativas 1.1 con 1 (Há), 1.2 con 1; 5 y 10 (Há), 1.3 con 1 (Há), 2.1 con 1; 5 y 10 (Há) y 2.2 con 1; 5 y 10 (Há) son no rentables debido a que conllevan utilidades operacionales negativas.

La alternativa 3.1 se descarta ya que produce menos utilidades operacionales que la alternativa 3.2, en todos los tamaños considerados, teniendo ambas la misma inversión.

Finalmente las alternativas 1.3 y 1.1 difieren en los montos de inversiones, solamente en los costos de plantación inicial ya que una tiene densidad de plantación $1,2 \text{ (kg/m}^2\text{)}$ y la otra del $0,6 \text{ (kg/m}^2\text{)}$. Esta diferencia es más que compensada al cabo de un año de operación por la alternativa 1.3 razón por la que se descarta la alternativa 1.1.

1.2 Evaluación económica

En la Tabla 9 se muestran los parámetros financieros obtenidos para las distintas alternativas, calculados a partir de los flujos de caja obtenidos y que se muestran en las Tablas

Tabla 8

Preselección de alternativas

Alternativa	Superficie sembrada (Há)	Ingresos (UF)	Costos cosecha (UF)	Costos reposición (UF)	Costos fijos (UF)	Costos concesión (UF)	Ingresos menos costos (UF)
1.1 Chululo (0,6 kg/m ²)	1	736,74	271,16	41,15	727,10	2,23	-304,90
	5	3.683,72	1.355,81	205,75	1.241,10	11,16	869,89
	10	7.367,44	2.711,63	411,50	1.616,60	22,33	2.605,39
1.2 Chululo (1,2 kg/m ²)	1	1.127,09	1.322,79	75,76	727,10	2,23	-1.000,79
	5	5.635,47	6.613,95	378,81	1.241,10	11,16	-2.609,56
	10	11.270,93	13.227,91	757,62	1.616,60	22,33	4.267,96
1.3 Chululo (1,2 kg/m ²)	1	1.092,56	440,93	60,94	727,10	2,23	-138,64
	5	5.462,79	2.204,65	304,70	1.241,10	11,16	1.701,18
	10	10.925,58	4.409,30	609,39	1.616,60	22,33	4.267,96
2.1 Cuerda (0,6 kg/m ²)	1	910,47	813,49	18,55	727,10	2,23	-650,90
	5	4.552,33	4.067,44	92,74	1.241,10	11,16	-860,11
	10	9.104,65	8.134,88	185,47	1.616,60	22,33	-854,63
2.2 Cuerda (1,2 kg/m ²)	1	1.346,86	1.322,79	27,50	727,10	2,23	-732,77
	5	6.734,30	6.613,95	137,52	1.241,10	11,16	-1.269,43
	10	13.468,60	13.227,91	275,04	1.616,60	22,33	-1.673,27
3.1 Plantado directo (1,25 kg/m ²)	1	1.593,84	661,40	56,02	727,10	2,23	147,09
	5	7.969,19	3.306,98	280,11	1.241,10	11,16	3.129,94
	10	15.938,37	6.613,95	560,21	1.616,60	22,33	7.125,28
3.2 Plantado directo (1,25 kg/m ²)	1	1.461,98	440,93	66,41	727,10	2,23	225,30
	5	7.309,88	2.204,65	179,69	1.241,10	11,16	3.673,28
	10	14.619,77	4.409,30	359,38	1.616,60	22,33	8.212,16

- 1.1 Chululo poda trimestral, cuchillo, 20 cm
- 1.2 Chululo poda mensual, cuchillo, 20 cm
- 1.3 Chululo poda trimestral, cuchillo, 30 cm
- 2.1 Cuerda poda mensual cuchillo, 20 cm
- 2.2 Cuerda poda mensual cuchillo, 20 cm
- 3.1 Directa bimestral, mano, 10 cm
- 3.2 Directa trimestral, mano, 10 cm

Tabla 9

Resultados de la evaluación

Alternativa	VPN (UF)	TIR (%)	PRC (años)	VFN/INV
1.3 - 5 (Há)	1.749,40	22,3	7	0,433
1.3 - 10 (Há)	10.785,58	50,0	2	1,724
3.2 - 1 (Há)	-1.096,83	-7,4	-	-
3.2 - 5 (Há)	11.269,50	70,9	2	2,741
3.2 - 10 (Há)	28.698,17	106,3	1	4,480

Flujos de Caja del Volumen de la Evaluación Económica. En esta tabla se puede apreciar que las alternativas de mayor tamaño muestran mejores indicadores financieros reflejando indivisibilidades en los costos y la linealidad de los ingresos.

La alternativa que resulta más rentable es la de plantado directo en 10 hectáreas, contrariamente a lo que se da en la realidad comercial chilena, en que la alternativa más usada en ambiente submareales es chululo. Adicionalmente, existen en la literatura proyectos, en que los resultados obtenidos favorecen la alternativa de mangas de polietileno "chululos".

Por este motivo, podría ser de utilidad el realizar cultivos pilotos de mayor envergadura, para así comprobar la validez de las extrapolaciones realizadas.

1.3 Análisis de sensibilidad

Como una manera de evaluar el impacto sobre el proyecto que tienen determinadas variables, se realizó un análisis de sensibilidad con respecto al precio del alga para diferentes tasas de descuento. No se sensibilizó con respecto a la frecuencia de cosecha ni a la productividad por considerarse que variaciones de estos parámetros corresponderían a nuevas alternativas de evaluación, por consiguiente sería incorrecto mantener inalteradas las condiciones de costos de operación.

Para aquellas alternativas que la evaluación mostró rentables, el análisis con respecto a precios consistió en encontrar aquel precio que produce un VAN nulo a la tasa del 12%, es decir encontrar el precio para el cual el proyecto deja de ser

rentable. En forma similar, para las alternativas que resultaron no rentables se buscó el precio que las hacía rentables, teniendo como base una tasa de descuentos del 12%. Los resultados se muestran en la Tabla 10.

Con el el precio actual y estos precios se calculó el valor presente neto para distintas tasas de descuento, de manera de no dejar el resultado expresado para una única tasa y de esta forma permitir que el lector, potencial inversionista, aplique su propio costo de oportunidad a la evaluación.

2. Cultivo en estanques

En la tabla de ingresos y costos operacionales en estanques según tamaños (Tabla 11) se puede apreciar que para estanques pequeños la operación no es rentable y que es más conveniente desde el punto de vista económico utilizar el método con burbujeo de 5 horas diarias. Sin embargo, si se compara el monto de las utilidades operacionales con el de inversiones, se puede apreciar que en un horizonte de evaluación de 10 años no se alcanza a recuperar la inversión por concepto de estanques, aún considerando la tasa de descuento igual a cero. Por esta razón y porque para realizar estos cálculos se consideraron producciones óptimas (es decir un nivel de ingreso máximo para un precio dado) y no se consideraron otras inversiones (como terrenos, compresores, etc.) y costos (como mano de obra, recambio de agua, etc.), la alternativa de cultivos en estanques no se considera económicamente adecuada para las actuales condiciones de producción y precios.

Tabla 10

Precios límite

A l t e r n a t i v a s		Precios (\$/kg
1,3	5 (Há)	42,0
1,3	10 (Há)	41,0
3,2	1 (Há)	52,0
3,2	5 (Há)	30,5
3,2	10 (Há)	26,5

Tabla 11

Inversiones en estanques según tamaño

Superficie (m ²)	Valor m ² (UF/m ²)	Costo total (UF)
10	1,03	10,31
50	0,88	44,12
100	0,82	81,88
500	0,74	367,67
1.000	0,74	736,05
3.000	0,72	2.171,86

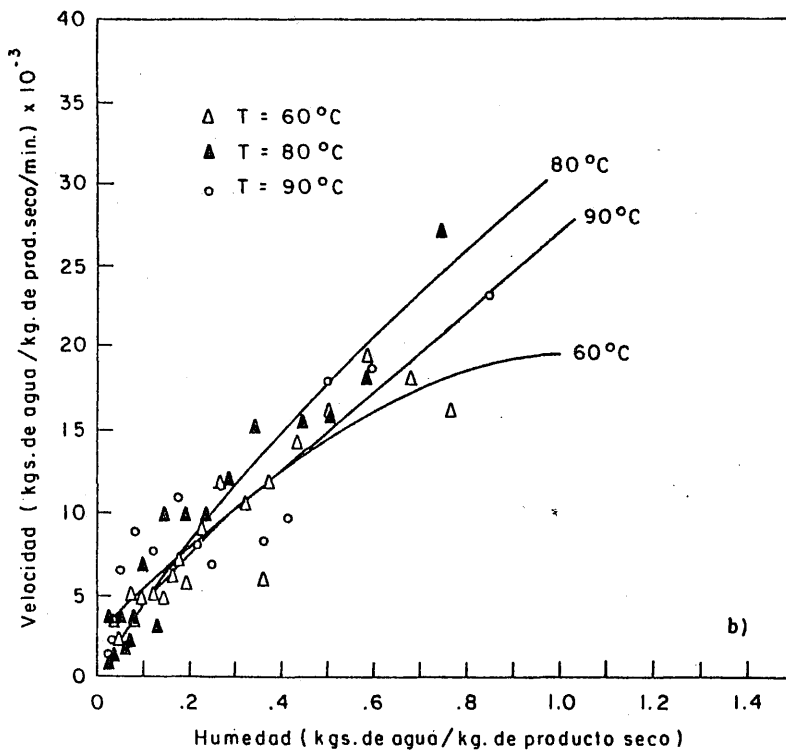
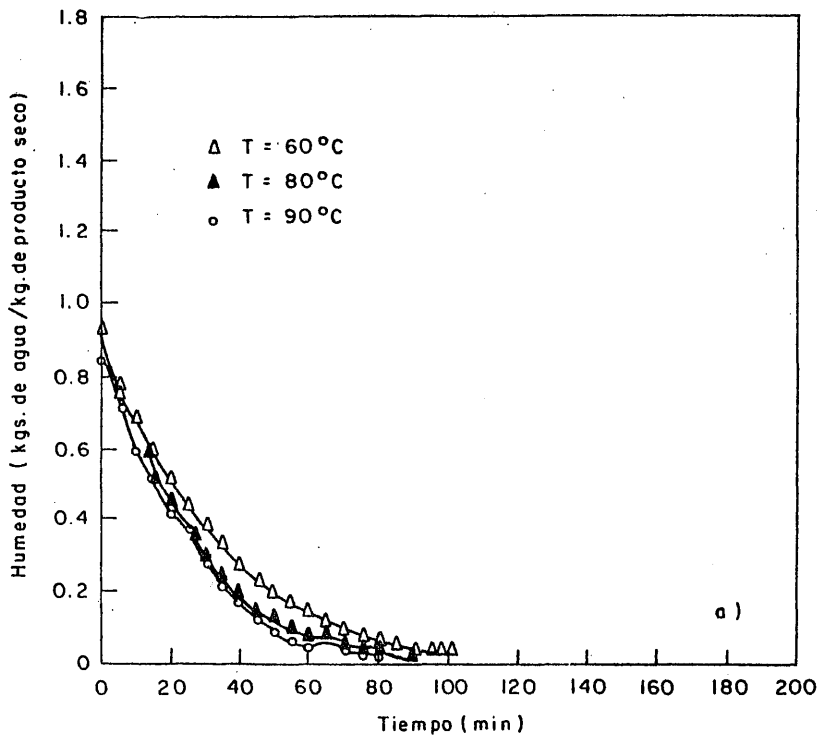
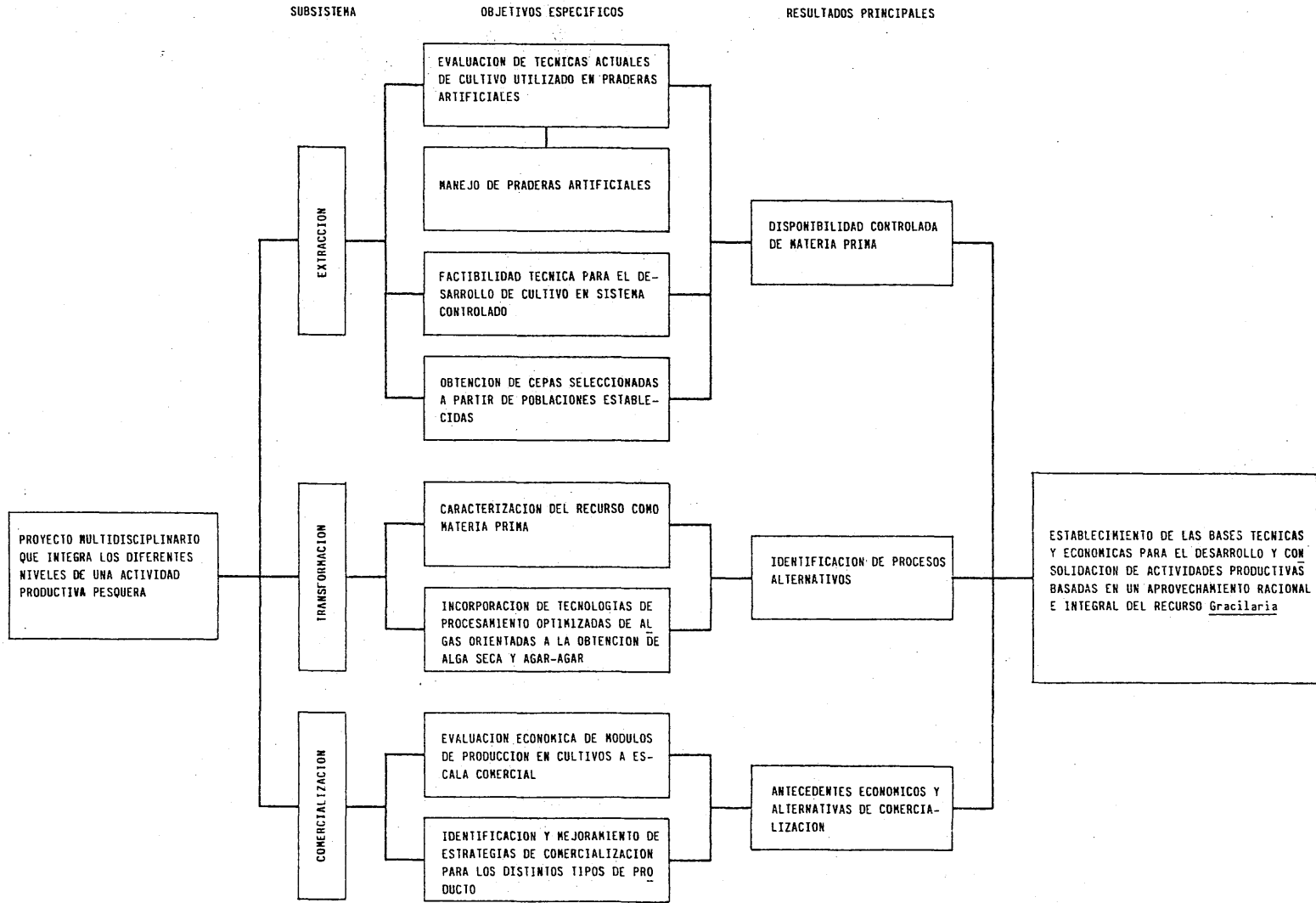


Fig. 12 : Curva de secado y velocidad de secado para las variables $v = 3$ m/seg. y $E = 3$ cm.

a) Curva de secado b) Velocidad de secado

PROGRAMA: INVESTIGACION PARA EL DESARROLLO DE CULTIVOS Y APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL DE ALGAS Gracilaria EN CHILE



A N E X O

Taller: Bases Técnicas para el Desarrollo de Cultivos
y Aprovechamiento Racional e Integral del
Recurso Gracilaria

CONCLUSIONES TALLER Gracilaria

Dado el carácter de este taller, las conclusiones están constituidas por los diferentes aportes o cuestionamientos de las diversas materias expuestas en relación con el proyecto analizado.

Al respecto, durante el taller se pudo constatar que las metodologías de trabajo aplicadas en el desarrollo de este proyecto, al no haberse planteado objeciones de fondo, son válidas al igual que sus resultados. En este contexto, caben destacar las siguientes conclusiones generales:

1. Se ha demostrado la viabilidad técnica de los cultivos de Gracilaria en estanques. Sin embargo, a la fecha se identifican aspectos que constituyen limitantes para su proyección comercial, que deben, a la luz de los resultados de esta parte de la investigación, ser abordados en un análisis más profundo de las alternativas que ofrece el complotamiento biológico de Gracilaria, o bien constituir objeto de futuras investigaciones multidisciplinarias.
2. Si bien los resultados técnicos y económicos de las experiencias de cultivo en praderas son atractivas desde un punto de vista económico, para proyectarlos a una escala comercial, éstos deben ser completados con diferentes factores, operativos o de otro tipo, a fin de conocer en forma real la productividad y rentabilidad de esta clase de cultivo bajo las condiciones señaladas.

3. Se debe destacar el aporte de este proyecto en la adaptación y desarrollo de una metodología para la determinación de los factores de rendimiento a agar y fuerza de gel.
4. En relación a los procesos tecnológicos de obtención de agar, el proyecto aporta un conocimiento de las diferentes variables, de mayor relevancia dentro de la obtención de este producto, teniendo como valor principal, el entregar una tecnología a la fecha no accesible.
5. Se hacen aportes para el manejo de praderas artificiales con el propósito de entregar elementos, tanto a ser considerados por el sector privado como público, que permitirán proyectar una equilibrada actividad productiva en este rubro.

ASISTENTES TALLER Gracilaria

Angela Kalergis	(Jefe Area Pesquera CORFO)
Guillermo Moreno	(Jefe Dpto. Recursos, SUBPESCA)
Francisco Ponce	(Investigador Dpto. Recursos, SUBPESCA)
Juan Lopehandía	(Jefe Dpto. Recursos, SERNAP)
Patricio Midleton	(Gerente, Industrial Marinas S.A.)
Juan Rusque	(Director Ejecutivo, FUNCAP)
Patricio Salas	(Gerente, PROAL)
Alberto Cooper	(Director Regional, CORFO IV Región)
Rodrigo Zavala	(Director Regional, CORFO X Región)
Ana María Aguad	(Sectorialista Pesquero, ODEPLAN)
Bernabé Santelices	(Docente, U. Católica de Chile)
Raúl Ugarte	(U. Católica de Chile)
Renato Westermeier	(Docente, U. Austral de Chile)
Pedro Rivera	(Docente, U. Austral de Chile)
Arturo Candia	(Docente, U. Católica de Talcahuano)
Adriana Poblète	(Docente, U. Católica de Talcahuano)
Ricardo Norambuena	(Asesor Privado)
Alejandro Buschmann	(Docente, Instituto Profesional Osorno)
Luis Tapia	(Docente, U. Antofagasta)
Rodolfo Infante	(Encargado Plan de Desarrollo Pesquero, Municipalidad de Tomé)
Pablo Escribano	(ODEPLAN)
Héctor Patiño	(Algas Marinas S.A.)
Ramiro Rojas	(Algas Marinas S.A.)
Marcos Deluchi	(Cementos Bío-Bío)
Gustavo León	(Gerente, Pro-agar)
Ulises Paulsen	(Sector Privado)

Raúl Markmann	(Bío-Ingeniería, Soc. Ltda.)
Jorge Ponzini	(Bío-Ingeniería, Soc. Ltda.)
Mauricio Brinner	(Sector Privado)
Carlos Melo	(Docente, MONTEMAR)
Gloria Collantes	(Docente, MONTEMAR)
Mario Edding	(Docente, U. del Norte)
Sergio Santa Cruz	(Asesor Privado)
Jacqueline Kelly	(Jefe Sector Pesca, PRO-CHILE)
Adriana Gallegos	(Sociólogo, Experto FAO)
Camilo Prieto	(Sector Privado)
Ignacio García	(Sector Privado)
María Eliana Ramírez	(Investigador, Museo Histórico Natural)
Juan Enrique Sánchez	(Gerente Cidere V Región)
Günther Ortloff	(Director Regional CORFO - Area Metropolitana)
Constatino Tapias	(Oficial de Pesca, Of. Regional Pesca FAO)
Clara Munita	(Periodista Revista Chile Pesquero)
Guillermo Ríos Campos	(Director Econin Asoc. Ltda.)
Sonia Barría	(Area Pesquera, CORFO)
Carlos Roncagliolo	(Ingeniero Civil, CORFO)
Carlos Alessandri	(Gerente Producción)
José Cid Labraña	(Acuicultor, Industrias Marinas)
Alfonso Pizarro	(Empresa Privada)
Laura O'Ryan	(Técnico, IFOP)
Armando Mora	(Asesor, IFOP)
J. Carlos Lucero	(Economista, IFOP)
Lidia Vidal	(Jefe Dpto. Tecnología, IFOP)
César Varela	(Jefe de División Tecnología y Economía, IFOP)
Maida Díaz	(Investigador, IFOP)
M. Julia Badilla	(Investigador, IFOP)
Franco González	(Memorista)
José Marambio	(Economista, IFOP)