

DESARROLLO DE GAMETÓFITOS Y ESPORÓFITOS DE *MACROCYSTIS PYRIFERA* (L.) C. AGARDH (LAMINARIALES: LESSONIACEAE) DE LA REGIÓN DE MAGALLANES EN CONDICIONES DE LABORATORIO.

GAMETOPHYTES AND SPOROPHYTES DEVELOPMENT OF *MACROCYSTIS PYRIFERA* (L.) C. AGARDH (LAMINARIALES: LESSONIACEAE) IN THE MAGELLAN REGION, ON LABORATORY CONDITIONS.

Mauricio Palacios<sup>1</sup> & Andrés Mansilla<sup>1</sup>

RESUMEN

El objetivo del presente estudio consiste en describir y evaluar el desarrollo de gametófitos y esporófitos de *M. pyrifera*, en condiciones de laboratorio. Esporofilas fértiles provenientes de poblaciones naturales de Tierra del Fuego (53°18'11.4''S; 70°23'30.5''W) fueron sometidas a esporulación, obteniéndose una solución homogénea de zoosporas, las cuales fueron inoculadas en portaobjetos. El experimento se llevó a cabo en una cámara de cultivo con temperatura de  $8 \pm 2$  °C, fotoperíodo de 12:12 e intensidad luminosa de  $40 \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ , como medio de cultivo se utilizó agua de mar filtrada enriquecida con Medio Provasoli, ( $20 \text{ ml lt}^{-1}$ ) renovado semanalmente. Los cultivos fueron monitoreados cada 3 días, desde el estado de zoosporas hasta la obtención de esporófitos. Se determinó el porcentaje de crecimiento diario tanto de gametófitos como de esporófitos utilizándose un sistema integrado de microscopía, y un programa analizador de imágenes. El diámetro promedio de los discos fue de  $17,9\mu\text{m} \pm 2,99$  con una tasa promedio de crecimiento de  $9,43 \text{ \% día}^{-1}$ . La fase gametofítica (microscópica) se desarrolló durante 5 días de cultivo. A partir del día 15, se inicia el desarrollo de los primeros esporófitos que presentaron una tasa promedio de crecimiento de  $8,35 \text{ \% día}^{-1}$ . La longitud promedio alcanzada al final del estudio (65 días de cultivo) fue de  $2920\mu\text{m} \pm 674,98$ .

---

<sup>1</sup> Departamento de Cs. y Rec. Nat., Fac. de Ciencias, Universidad de Magallanes. Casilla 113-D. Punta Arenas. mpalacio@aoniken.fc.umag.cl  
Financiamiento: Proyecto Fondef DO111164.

Palabras clave: *Macrocystis*, cultivo, Tierra del Fuego

#### ABSTRACT

The objective of this study is to describe and evaluate the development gametophytes and sporophytes of the *M. pyrifera*, under laboratory conditions. Fertile sporophylls from native populations of Tierra del Fuego (53°18'11.4''S; 70°23'30.5''W) were submitted to sporelling, obtaining a homogenous solution of zoospores, which were inoculated on microscope slides. The experiment was performed in a cultivation chamber at a temperature of  $8 \pm 2$  °C, photoperiod of 12:12 and light intensity of  $40 \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ , as a cultivation mean, filtered sea water was used, enriched with Provasoli Medium, (20 ml  $\text{lt}^{-1}$ ), which was changed once weekly basis. The culture was monitored every three (3) days, from the zoospores stage to obtain sporophytes. The average daily growth was determined for the gametophytes and sporophytes, using an integrated microscopic system and software to process images. The average diameter of the germlings was  $17,9\mu\text{m} \pm 2,99$  with an average growth rate of  $9,43 \%$   $\text{day}^{-1}$ . The gametofitic (microscopic) stage was developed during a five (5) day cultivation period. After 15 days development of the first sporophytes began, with an average growth rate of  $8,35 \%$   $\text{day}^{-1}$ . The average length reached at the end of the study (65 days of cultivation) was  $2920\mu\text{m} \pm 674,98$ .

Key words: *Macrocystis*, culture, Tierra del Fuego.

Norte (México, Norte de Baja California y Alaska) y del Sur (desde Perú hasta el Cabo de Hornos) (Alveal 1995), Sur de África, Australia, Nueva Zelanda, Noruega, Escocia, Japón y Corea (Cruz *et al.* 2000<sup>2</sup>, Druehl 2000)

En Chile *M. pyrifera* se distribuye desde la Región de Valparaíso hasta el Cabo de Hornos (Candia *et al.* 1979, Alveal *et al.* 1982, Romo *et al.* 1984, Hoffmann & Santelices 1997), sus poblaciones forman cordones continuos paralelos a la costa de aproximadamente 30 a 45 metros de ancho (Alveal *et al.* 1982, Mansilla *et al.* 2003<sup>3</sup>).

La industria de algas “kelps” mueve cifras en torno de los 4 millones de toneladas de biomasa, destinadas a la industria alimenticia y farmacéutica, cuya materia prima proviene de praderas cultivadas, principalmente de países como China, Japón y Corea o de poblaciones naturales presentes en Europa, Norte o Sudamérica (Kloareg *et al.* 1999).

#### INTRODUCCIÓN

La utilización de macroalgas en diferentes actividades humanas se ha ido incrementando en las últimas décadas, su uso como suplemento alimenticio, alimentación de recursos marinos cultivados y la extracción de ficocoloides ha permitido que en los últimos años, en Chile hayan aumentado los ingresos por este rubro de 7,5 a 57,6 millones de dólares (Ávila *et al.* 2001<sup>1</sup>).

El huiro *Macrocystis pyrifera* (L.) C. Agardh, es uno de los recursos algales mas importante en términos de biomasa del planeta. El género presenta una distribución geográfica bipolar (North 1971), localizándose principalmente a lo largo de las costas de América del

1 Ávila M. & M. Núñez. 2001. Tecnología de Producción de Algas en Chile. Instituto de Fomento Pesquero, División de Acuicultura. Balmaceda 252. Puerto Montt. mavila@ifop.cl. Primer Taller Chile - Corea sobre Acuicultura 25-27 Abril 2001, Coquimbo- Chile. Organizado por: Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT), Universidad Católica del Norte, Fundación Chile.

2 Cruz Suárez, L. E., Denis Ricque-Marie, Mireya Tapia-Salazar & Claudio Guajardo- Ba. 2000. Uso de harina de kelp (*Macrocystis pyrifera*) en alimentos para camarón. In: Cruz- Suarez, L. E. Ricque- Marie, D., Tapia- Salazar, M., Olevera- Nova, M. A. & Civera- Cerecedo, R., (eds). Avances en Nutrición Acuicola V. Memorias del V Simposium Internacional de Nutrición Acuicola. Noviembre 2000. Mérida, Yucatán. p. 19- 22.

3 Mansilla, A., M. Palacios, N. Navarro & V. Riquelme. 2003. Variación Estacional de Biomasa Húmeda y Estado Reproductivo de *Macrocystis pyrifera* (L.) C. Agardh en Bahía Porvenir, Tierra del Fuego. Libro Resumen XXIII Congreso Ciencias del Mar, Punta Arenas, Chile. p. 77.

Debido a sus elevados contenidos en aminoácidos esenciales y de ácidos grasos, la calidad de proteínas y de lípidos de la harina de "kelps" como el huiro, es comparable con las de otras fuentes vegetales (Cruz *et al.* 2000<sup>3</sup>), lo que justifica sin duda alguna el estudio y la optimización de las tecnologías de cultivo de *M. pyrifera* en nuestro país. Por otro lado, análisis proximales de *M. pyrifera* de Chile (Magallanes) y *M. pyrifera* de México, han evidenciado un mayor contenido de proteínas (12,23% base húmeda) en el *Macrocystis* chileno en comparación con el mexicano (9,41% base húmeda), presentándose una situación similar con los lípidos (1,1 v/s 0,82 % base húmeda) (Cruz *et al.* 2000<sup>2</sup>).

*M. pyrifera* se destaca además por su utilización como alimento para el molusco abalón, cuya industria durante el año 2002 llegó a una producción de 83 ton. neta con ingresos que superaron los US\$ 1.500 millones (Aquanoticias 2003<sup>4</sup>). Además se ha proyectado para el 2005 una producción de 500 a 600 toneladas de este molusco en proceso de engorda (50 toneladas de abalones en cultivo consumen en torno de 400- 500 toneladas húmedas de alga) tornándose urgente la optimización del cultivo de esta especie, que posiblemente en un futuro no muy lejano estará expuesta a una fuerte presión extractiva como sucede actualmente con las algas carragenofitas. (Westermeyer 2000<sup>5</sup>).

Cabe señalar además que este recurso se encuentra en estudio para ser utilizado también en la alimentación humana (Proyecto FDI, 2001<sup>6</sup>) y como suplemento alimenticio en la industria de la salmonicultura (Mansilla 2003<sup>7</sup>), además de la producción de ficocoloides, como los alginatos que a nivel mundial generan anualmente más de US\$ 250.000.000 (Vásquez 1999).

Finalmente es importante resaltar que es urgente resolver el conocimiento del proceso reproductivo de *M. pyrifera* bajo condiciones de laboratorio, ya que para garantizar futuros cultivos exitosos, el conocimiento tanto de las etapas

microscópicas como sus primeros estados de desarrollo es imprescindible. Sin duda que el conocimiento de métodos de desarrollo de las primeras fases productivas y reproductivas de *M. pyrifera* significa una importante contribución, para procesos de cultivos y repoblación de este recurso de gran importancia comercial.

El presente estudio objetiva establecer las metodologías para desarrollar las primeras fases de crecimiento y describir las diferentes etapas de desarrollo del ciclo de vida de *M. pyrifera* de la región de Magallanes, en condiciones de laboratorio.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Esporofilas fértiles de *M. pyrifera* fueron colectadas mediante buceo semi-autónomo a una profundidad promedio de 2 metros desde poblaciones naturales de Tierra del Fuego (53°18'11,4"S; 70°23'30,5"W) (Fig. 1). El material (Fig. 2) fue transportado al Centro de Investigación para la Acuicultura y Recursos Naturales de la Universidad de Magallanes, en termos refrigerados para evitar liberación anticipada de zoosporas.

Una vez en el laboratorio las esporofilas fueron rigurosamente seleccionadas según estado de madurez. Mediante cortes transversales se determinó la ausencia o presencia de zoosporangios, luego se procedió a un primer lavado con agua potable para la eliminación de epífitos y epibiontes, continuándose con un segundo lavado con agua de mar filtrada (0,2µm) y esterilizada.

Para estimular la liberación de las zoosporas, las esporofilas fueron cortadas en pequeños trozos de 2 cm<sup>2</sup> y luego sometidas a estrés por desecación por un período de 30 a 60 minutos, tiempo considerado prudente ya que largos períodos de deshidratación son dañinos para las zoosporas en algunas algas pardas (Druehl 2000, E. Fonck *et al.* 1998). Posteriormente los trozos de esporofilas fueron coloca-

4 Revista Aquanoticias. Cultivo de abalón en Chile "Fotografía de una Industria Cautivante". Marzo 2003, p 32- 40.

5 Westermeyer, R. 2000. "Investigación y desarrollo tecnológico del cultivo de algas y su utilización por invertebrados herbívoros en Chile". Universidad Austral de Chile, Chile. Proyecto Fondef D00I1144.

6 Proyecto FDI, Diversificación Tecnológica de Algas Pardas Nacionales, Fundación Chile, 2001. Séptimo Concurso Nacional FDI, p. 23.

7 Mansilla, A. 2003. "Utilización de Harina de la Macroalgas *M. pyrifera* de la región de Magallanes y Antártica Chilena, para la alimentación de Salmonídeos. Universidad de Magallanes, Chile. Proyecto Fondef DO1I1164.

dos directamente en cubetas con agua de mar y porta-objetos para la liberación de las estructuras reproductivas directamente sobre sustrato de vidrio (Fig. 3).

Durante las primeras 24 horas de incubación, en la cámara de cultivo (Tabla 1), los trozos de esporofilas fueron mantenidos a baja intensidad de luz de  $5,2\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$  (Ávila *et al.* 1985) para luego proceder a la eliminación de los trozos de tejido y verificar con auxilio de microscopio la ausencia o presencia de zoosporas sobre los porta-objetos. La evaluación de los cultivos se realizó cada 2 a 3 días y la renovación del medio Provasoli ( $20\text{ ml lt}^{-1}$ ) cada 7 días.

Los cultivos fueron evaluados mediante la utilización de un sistema compuesto de microscopía y un software analizador de imágenes Imagen Pro-Plus versión 4.1 desde la obtención de las zoosporas hasta los primeros esporófitos. Mediante este sistema se procedió a determinar la duración del período de movimiento de las zoosporas hasta el asentamiento, duración de la fase gametofítica (microscópica) y fase esporofítica de *M. pyrifer*. De igual forma se determinó, cada 2 a 3 días la tasa de crecimiento en diámetro del estado inicial de asentamiento, largos y anchos de los esporofitos en ambas fases mediante la expresión indicada por Hansen (1980):

$$\text{Tasa de Crecimiento específico (\% día}^{-1}\text{)} = 100[\text{Ln}(N_t/N_0)]/t$$

Donde  $N_0$  = tamaño inicial

$N_t$  = tamaño final

$t$  = intervalo de tiempo en días.

## RESULTADOS

### 1. Desarrollo de esporas y obtención de gametófitos

#### 1.1 Fase filamentosa gametofítica

La verificación del estado reproductivo de las esporofilas reveló un buen estado de madurez del material colectado. Se obtuvieron zoosporas con un diámetro promedio  $4,27\mu\text{m} \pm 0,58$  (tabla 2).

Luego de 3-4 días de incubación las zoosporas dieron origen a un estado inicial de fijación (Fig. 4A, 4B). Esta fase se desarrolla has-

TABLA 1. Condiciones de cámara de cultivo de ambiente controlado.

Temperatura	$8 \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$
Iluminación	$40\mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$
Fotoperíodo	12:12
Medio de Cultivo (Provasoli)	$20\text{ ml lts.}^{-1}$

TABLA 2. Diámetro promedio de zoosporas ( $\mu\text{m}$ )

Promedio	4,27
Desviación estándar	0,58
Error estándar	0,10
N	32
Diámetro mínimo	3,05
Diámetro máximo	5,75

ta el octavo o noveno día adoptando una forma filamentosa y radial, hasta la aparición de ramificaciones que se manifiestan entre el día 9 y 11 del experimento (Fig. 4C, 4D). Durante el desarrollo de esta fase el incremento de diámetros de estructura de asentamiento fue exponencial  $y = 5,235\hat{a}^{0.2434x}$ ,  $r^2 = 0,99$  (Fig. 5A), obteniéndose una tasa promedio de crecimiento diarios de  $9,43\% \text{ día}^{-1}$  (Fig. 5B) (Tabla 3).

### 1.2 Desarrollo de la fase gametofítica

#### 1.2.1 Gametófitos femeninos y masculinos

El inicio del estado gametofítico ocurrió a partir del noveno día de cultivo (Fig. 6). En los gametófitos femeninos es posible diferenciar filamentos que presentan longitudes prome-

TABLA 3. Diámetro promedio de la fase inicial de asentamiento ( $\mu\text{m}$ ) y tasa promedio de crecimiento diario. (\*) tasa promedio de crecimiento durante todo el período de cultivo.

días de cultivo	2	4	7	9	11
Promedio	6,68	8,33	10,75	14,52	17,09
Desviación Est.	1,13	1,26	1,45	2,29	2,99
Error estándar	0,23	0,23	0,22	0,48	0,55
N	25	30	43	23	30
Diámetro Mín.	5,24	6,19	7,25	11,12	12,46
Diámetro Máx.	9,39	10,44	14,51	19,05	26,4
TCD ( $\% \text{ día}^{-1}$ )	11,03	8,5	10,03	8,16	<b>9,43*</b>

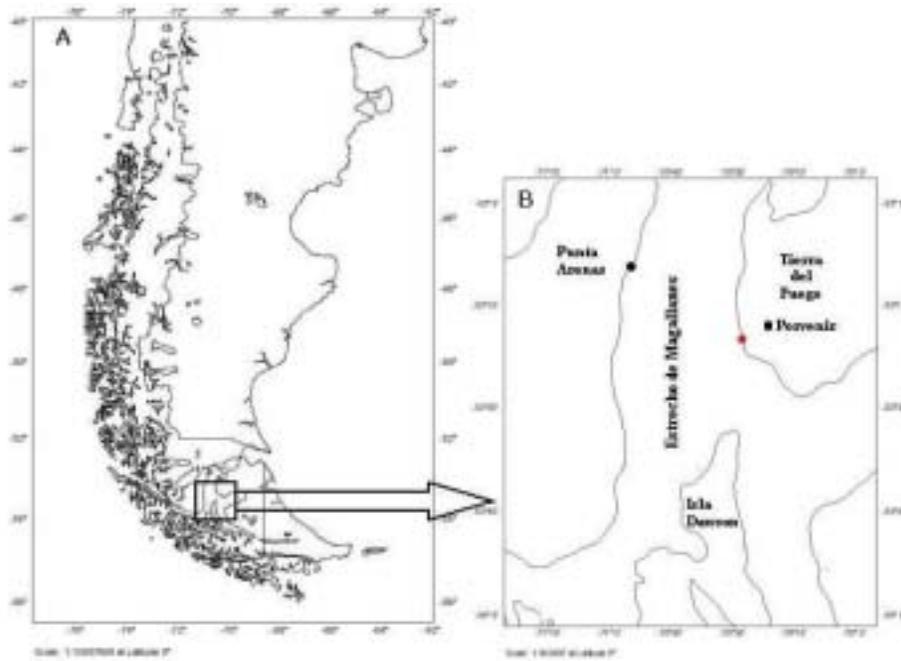


Fig. 1.A: Ubicación geográfica del Area; 1B: (\*) Bahía Porvenir, sector de Colecta del Material reproductivo de *M. pyrifera*.



Fig. 2. Esporofilas fértiles reproductivas; (S) Soros.

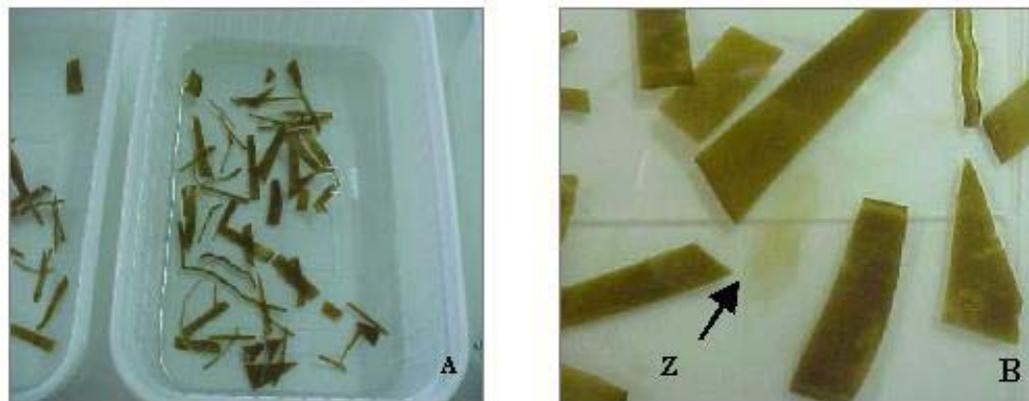


Fig. 3. (A) Esporulación de esporofilas en bandejas con porta-objetos; (B) liberación de zoosporas (Z).

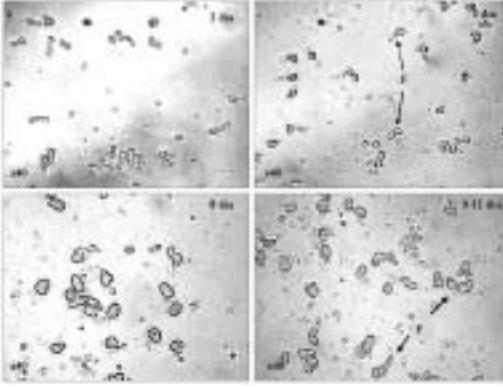


Fig. 4. Estados iniciales del cultivo de *M. pyrifer*. **A**: zoosporas; (2 a 3 días de cultivo); **B**: estado inicial de asentamiento de zoosporas (3er a 4to días de cultivo); **C**: estado en que se produce un incremento de diámetro de la fase inicial de asentamiento (8 días de cultivo); **D**: primeros filamentos (**F**) incipientes que darán origen a los gametófitos

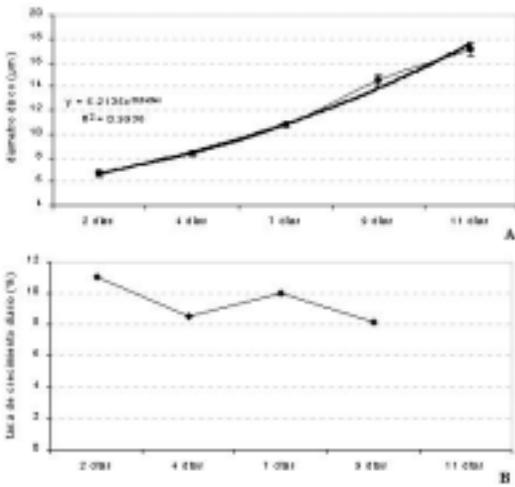


Fig. 5. (A) Variación del diámetro en la fase inicial de asentamiento de zoosporas de *M. pyrifer* durante 11 días de esta fase. Curva exponencial  $y = 5,2135 * 0.2434^x$ , ( $r^2 = 0,99$ ). (B) Tasa de Crecimiento Diario (% día<sup>-1</sup>)

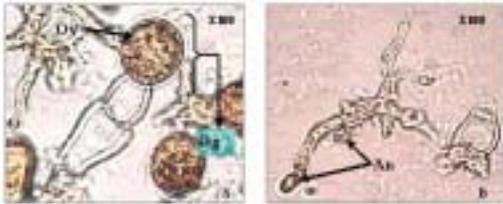


Fig. 6. Fase gametofítica de *M. pyrifer* en cultivo. **A**: gametofito femenino observese formado por un filamento que en su porción terminal se encuentra el oogonio (Og) que en su interior aloja una ovocélula (Ov); **B**: Aspecto general filamentosos de un gametofito.

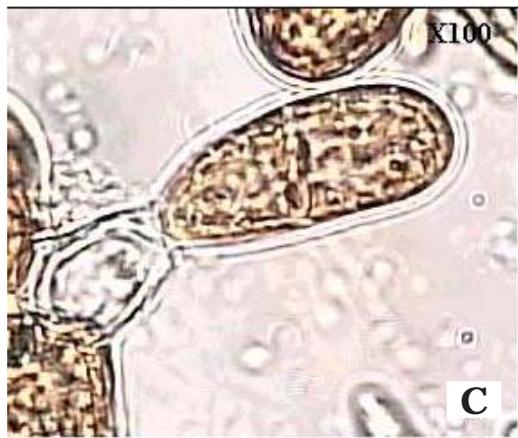


Fig. 7. Estados iniciales del cultivo de *M. pyrifer*. **A**: esporofito de 3 días post- fecundación; **B**: esporofito inicial de 4 células; **C**: esporofito inicial de 2 células.

TABLA 4a y b. Tallas promedios ( $\mu\text{m}$ ) de esporofitos y tasa de crecimiento diario en 44 días de cultivo. (\*) tasa promedio de crecimiento durante todo el período de cultivo.**a**

días de cultivo	21	24	27	31	34	36	38
Promedio	70,58	114,87	168,53	188,15	281,22	274,78	306,58
Desviación estándar	12,48	20,07	141,97	35,47	56,74	51,71	63,45
Error estándar	1,62	2,9	19,69	5,47	8,76	7,24	9,79
N	59	48	52	42	42	51	42
Largo mínimo	41,32	80,24	90,63	121,3	185,22	141,54	150,37
Largo máximo	92,94	162,51	951,34	267,85	394,89	375,87	440,2
TCD (% día <sup>-1</sup> )	16,23	12,78	2,75	13,4	0,00	5,48	2,71

**b**

días de cultivo	42	45	48	52	56	59	65
Promedio	341,73	538,09	605,04	1531,71	2102,19	2142,05	2920,28
Desviación estándar	82,31	114,11	126,8	363,72	407,8	367,61	674,98
Error estándar	12,55	17,01	19,12	43,47	56,02	53,62	96,43
N	43	45	44	70	53	47	49
Largo mínimo	154,27	314,84	358,5	612,07	863,74	1400,02	1552,34
Largo máximo	504,48	849,72	966,14	2295,56	2805,98	3038,52	4242,03
TCD (% día <sup>-1</sup> )	15,13	3,91	23,22	7,91	0,63	5,17	<b>8,35*</b>

TABLA 5a y b. Anchos promedios ( $\mu\text{m}$ ) de esporófitos y tasa de crecimiento diario en 44 días de cultivo. (\*) tasa promedio de crecimiento durante todo el período de cultivo.**a**

días de cultivo	21	24	27	31	34	36	38
Promedio	26,42	41,72	53,4	74,8	118,58	106,56	122,99
Desviación estándar	4,02	16,17	14,9	16,33	22,79	24,45	26,1
Error estándar	0,52	2,33	2,07	2,52	3,52	3,33	3,93
N	59	48	52	42	42	54	44
Largo mínimo	18,48	26,61	12,4	45,18	68,45	53,41	74,2
Largo máximo	36,106	111,37	89,45	107	175,7	154,25	173,39
TCD (% día <sup>-1</sup> )	15,24	8,23	8,42	15,36	0,00	7,17	4,11

**b**

días de cultivo	42	45	48	52	56	59	65
Promedio	144,95	245,16	259,15	887	1288,46	1286,56	1584,66
Desviación estándar	35,91	59,07	56,94	257,24	257,16	225,85	397,97
Error estándar	5,48	9,01	8,68	30,75	35,32	32,94	56,85
N	43	43	44	70	53	47	49
Largo mínimo	73,95	131,53	140,09	246,27	569,5	713,87	952,26
Largo máximo	251,95	388,33	398,56	1365,93	1644,43	1798,77	2367,89
TCD (% día <sup>-1</sup> )	17,52	1,85	30,76	9,33	0,00	3,47	<b>9,07*</b>

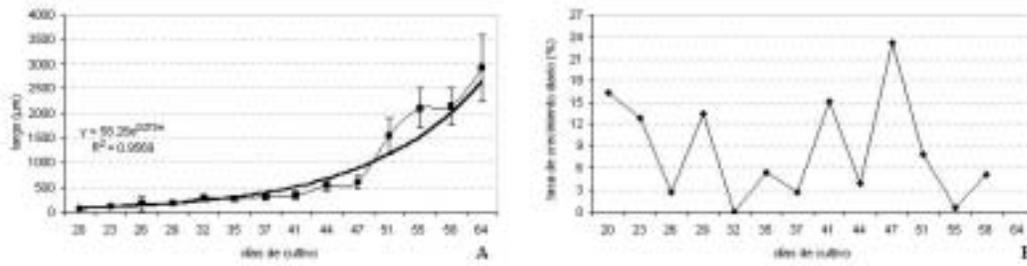


Fig. 8. (A) Curva de incremento en largo de fronda en la fase esporofítica de *M. pyrifera* durante 44 días de cultivo de esta fase. Curva exponencial  $y = 58,26e^{0,2724x}$ , ( $r^2 = 0,95$ ). (B) Tasa de crecimiento diario (% día<sup>-1</sup>)

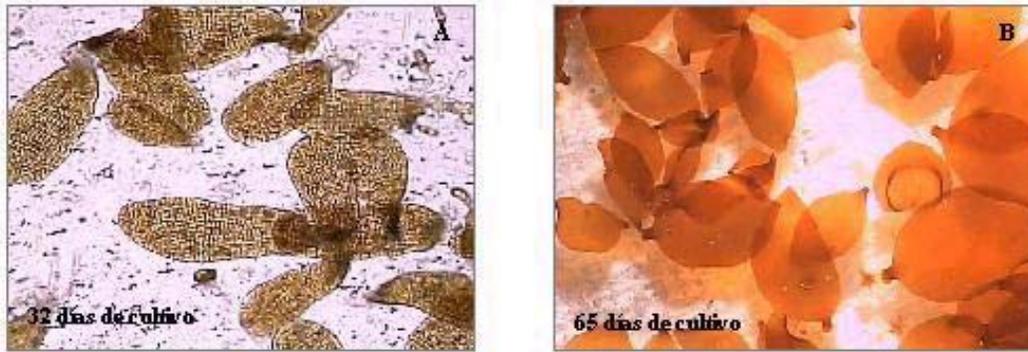


Fig. 9. A: esporofitos con 32 días de cultivo con longitudes promedio de  $188,15 \mu\text{m} \pm 35,47$ ; B: esporofitos con 65 días de cultivo con longitudes promedio de  $2920,28 \mu\text{m} \pm 674,98$ .

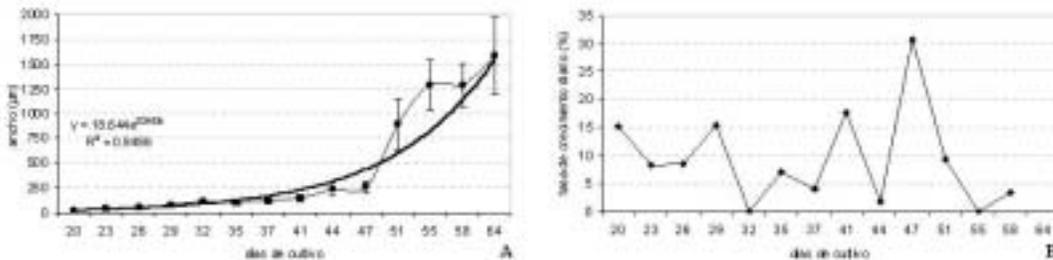


Fig. 10. Curva de incremento en ancho del talo en la fase esporofítica de *M. pyrifera* durante 44 días de cultivo de esta fase. Curva exponencial  $y = 18,644e^{0,3153x}$ , ( $r^2 = 0,94$ ). (B) Tasa de crecimiento diario (% día<sup>-1</sup>)

dio de  $2,76 \mu\text{m} \pm 0,53$ .

El gametófito femenino está constituido por dos células de longitudes promedio de  $1,29 \mu\text{m} \pm 0,40$ , destacándose en su extremo distal el oogonio con diámetro promedio de  $18,38 \mu\text{m} \pm 1,70$ , caracterizado por presentar una coloración amarilla intensa (Fig. 6A).

En los gametófitos masculinos los órganos reproductivos se desarrollan en los extremos de cada uno de los filamentos de  $3,48 \mu\text{m} \pm 1,44$  de diámetro promedio (Fig. 6B). La fase gametofítica presentó una duración de 6 días (Fig.

11)

### 1.3 Desarrollo de la fase esporofítica

Entre los días 14 y 16 se evidenció el inicio de la fase esporofítica de *M. pyrifera*, con las primeras divisiones del oogonio fecundado (Fig. 6A), posteriormente se puede visualizar una segunda división perpendicular a la primera (Fig. 7B, 7C) punto a partir del cual se inicia el desarrollo de la fase esporofítica.

La fase esporofítica se desarrolló durante un periodo de cultivo de 50 días de cultivo

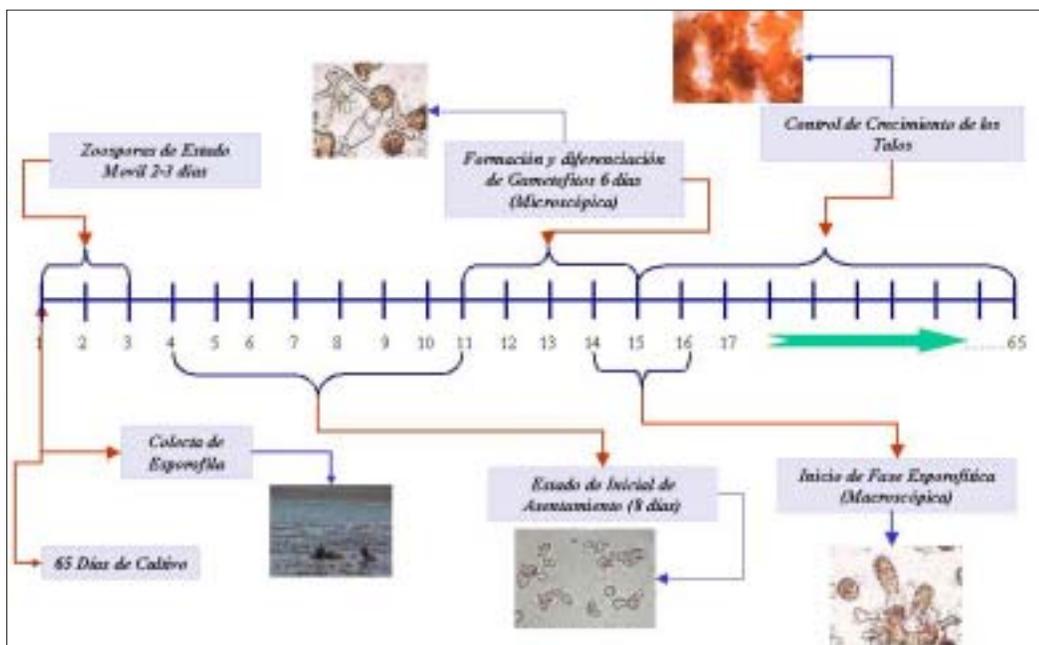


Fig. 11. Esquema de las actividades realizadas para el cultivo de *M. pyrifera* durante los 65 días de monitoreo.

(Fig. 8A). En este período el incremento de longitud de los talos se presentó en forma exponencial  $y = 58,26\hat{a}^{0.2724x}$ ;  $r^2 = 0,95$ . La tasa promedio de crecimiento diario en largo de la fronda fue de  $8,35 \text{ \% día}^{-1}$  (tabla 4) (Fig. 8B) hasta completar un largo promedio de  $2920,28 \text{ }\mu\text{m} \pm 674,98$ , obteniéndose un máximo de  $4242,03 \text{ }\mu\text{m}$  (Fig. 9A, 9B).

Por otro lado el incremento de anchos de las frondas también se presentó en forma exponencial  $y = 18,644\hat{a}^{0.3153x}$ ;  $r^2 = 0,94$  (Fig. 10A).

La tasa promedio de crecimiento diario en el ancho de la fronda fue del  $9,07\% \text{ día}^{-1}$  (Fig. 10B) hasta alcanzar un ancho de promedio de  $1584,66 \text{ }\mu\text{m} \pm 397,97$  (tabla 5), con valores máximos de  $2367,89 \text{ }\mu\text{m}$ .

#### DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las esporofilas de *M. pyrifera* colectadas en período primaveral, presentan suficientes cantidades de soros maduros con abundantes zoozporas, situación que puede ser observada durante todo el año. Estas informaciones son coincidentes con los comentarios de Candia *et al.* (1979), Ávila *et al.* (1982) y Alveal *et al.* (1985).

Sin embargo, los estudios de Barrientos & Alveal (2001), afirman que los procesos esporicos para Canal Beagle- Cabo de Hornos se desarrollan solamente durante los períodos de otoño e invierno.

Estudios que describen la gametogénesis y desarrollo de la fase esporofítica en *M. pyrifera* en Chile han sido abordados por Candia *et al.* (1979), Alveal *et al.* (1982) y Celis & Alveal (2003), los cuales han enfocado aspectos relacionados con el ciclo de vida, aspectos sobre cultivo en laboratorio y métodos para cultivo en terreno de la especie, respectivamente, ahora, por primera vez se describen y documentan detalladamente tanto las células reproductivas, fase gametofítica y desarrollo inicial del esporofito, informaciones de gran relevancia para futuros experimentos de cultivo que objetiven el repoblamiento de la especie.

La densidad de zoozporas, obtenidas en el proceso de liberación de esporas fue de  $120.000 \text{ zoozporas ml}^{-1}$ , no existen referencias al respecto, información considerada de gran relevancia, cuando existe la intención de inocular sustratos para repoblación de esta macroalga. En relación con el tamaño de las zoozporas se obtuvieron registros de  $4,27 \text{ }\mu\text{m} \pm 0,58$ , tamaños que

no difieren significativamente de los resultados obtenidos por Alveal *et al.* (1982), sin embargo se observan diferencias con respecto al período de movilidad de las zoosporas, ya que en el presente estudio, se observó un período de movilidad de 3 días, mientras que Alveal *op. cit.* reportan períodos de hasta cinco días. Observación de gran relevancia pues permitiría la obtención de esporófitos para cultivo en un menor período de tiempo.

Con respecto al período de asentamiento de zoosporas, observado al cuarto día y la formación de la estructura de asentamiento que ocurre entre el 9°- 11° días de cultivo, cuando comienzan a diferenciarse en forma gradual los filamentos, se concluye que esta fase se prolonga entre 5 a 7 días, información que se contrapone con las observaciones realizadas por Celis (2003)<sup>9</sup> quien describe la formación de un filamento lateral a los dos días de iniciados sus cultivos.

En lo referente al éxito del cultivo, se observó una excelente movilidad y viabilidad de zoosporas, reflejada en la gran cantidad de gametófitos y posteriores esporófitos obtenidos,

A partir del día 12 de cultivo, se observan claras diferencias entre gametófitos femeninos y masculinos, fase que se completa en un período de cinco días. En este sentido cabe mencionar que Alveal *et al.* (1982) en estudios del ciclo de vida de *M. pyrifer* comentan que solamente a los 20 días de cultivo es posible diferenciar entre gametófitos masculinos y femeninos, informaciones que podrían indicar que *M. pyrifer* de la región de Magallanes presenta un comportamiento reproductivo diferente a las plantas existentes en Chile central, en los cuales ocurriría una diferenciación temprana de los gametófitos

El diámetro de los oogonios no difiere mayormente con los obtenidos por Alveal *et al.* (1982) y Candia *et al.* (1979) los que alcanzaron tamaños de 20- 30  $\mu\text{m}$ .

En el presente estudio, los primeros esporófitos (fase macroscópica) comenzaron a ser observados a partir del día 14 y 15 de cultivo, los cuales aparecen en forma gradual, aún en presencia de numerosos gametófitos, situación que difiere considerablemente de los resultados obtenidos por Candia *et al.* (1979) y Celis (2003)<sup>9</sup>

que describen la formación de los primeros esporófitos a las ocho semanas de iniciados los cultivos. El punto a considerar es probablemente la procedencia de las esporofilas provenientes en ambos casos de la Octava Región, donde por lo general las poblaciones no presentan las mismas características morfológicas que las existentes en el estrecho de Magallanes, lo cual podría estar afectando su potencial reproductivo e incidiendo en períodos de reproducción más lentos.

Con respecto a la sobrevivencia, si bien no se mantuvo un control metódico sobre los índices de mortalidad ni sobrevivencia, se observó que la mayor parte de los esporófitos iniciales llegaron a obtener longitudes por sobre los 1500  $\mu\text{m}$ . Con respecto a formación de rizoides, estas estructuras comenzaron a observarse a partir del momento de la formación de los primeros gametófitos.

Al finalizar el experimento (65 días de cultivo) se obtuvieron frondas de 4242.03  $\mu\text{m}$ , tamaño excepcionalmente más elevados a los obtenidos por Candia *et al.* (1979) y Celis (2003), donde no se superaron tamaños de 400  $\mu\text{m}$  y 2750  $\mu\text{m}$  para 240 y 195 días respectivamente. Los elevados valores en la tasa de crecimiento sin duda denotan las especiales características genéticas y biológicas de *M. pyrifer* de Magallanes, situándolo como un promisorio recurso a ser utilizado a futuro en estudios de repoblación de la especie, utilizada actualmente en la alimentación de cultivos masivos de abalones, erizos, alimentación humana y como suplemento alimentario en dietas para salmones. Finalmente se sugiere realizar experimentos que permitan comparar simultáneamente plantas de *M. pyrifer* de Magallanes con las de Chile Centro sur con respecto a potencial reproductivo (densidad de zoosporas), duración de las fases de movilidad, asentamiento y producción de esporófitos, determinándose si la población existente en la región de Magallanes, presenta ventajas comparativas para su utilización en cultivos exitosos.

#### LITERATURA CITADA

- Alveal, K., H. Romo & M. Avila 1982. Estudio del Ciclo de Vida de *Macrocystis pyrifer* de Isla Navarino, Chile. *Gayana Botánica*, Universidad de Concepción. 39: 1-

- 12.
- Alveal, K. 1995. Manejo de algas marinas. En K. Alveal, M. Ferrario, E. Oliveira & E. Sar (Eds.) *Manual de Métodos Ficológicos*. Universidad de Concepción, Chile. 853 pp.
- Avila, M., A. J. Hoffmann & B. Santelices 1985. Interacciones de temperatura, densidad de flujo fotónico y fotoperíodo sobre el desarrollo de etapas microscópicas de *Lessonia nigrescens* (Phaeophyta, Laminariales). *Revista Chilena de Historia Natural* 58: 71-82.
- Avila M., K. Alveal & H. Romo 1982. Comunidades de algas epifitas de *Macrocystis pyrifera* de Isla Navarino, Chile. *Gayana Botánica* Universidad de Concepción, Chile 38, p.
- Barrientos, E., K. Alveal 2001. *La Dominancia Morfo-Reproductiva en las historias de vida de algas de Importancia Comercial. Sustentabilidad de la Biodiversidad un problema actual, bases científico-técnicas*. Teorización y proyecciones. Eds K. Alveal V. & T. Antezana J, Universidad de Concepción, Chile, 2001. pp. 497- 511.
- Candia, A., H. Romo, K. Alveal & V. Dallarossa 1979. Cultivo unialgal de *Macrocystis pyrifera* (L.) C. Agardh, de la Bahía de Concepción, Chile. *Rickia* 8 : 75-83.
- Celis, P. & K. Alveal 2003. Técnicas de Cultivo sobre Sustrato Artificial para el Alga *Macrocystis pyrifera* (Linnaeus) C. Agardh (Phaeophyta, Laminariales). Memorias de Curso Internacional de Posgrado y Especialización de Macroalgas en Ambientes Subantárticos. Ed. Universidad de Magallanes, 2003. p. 67- 72.
- Druehl, L. 2000. Pacific Seaweeds, *A guide to common seaweeds of the west coast*. Ed. The Canada Council Fort The Arts Since 1957. 93 pp.
- Fonck, E., M. Venegas, F. Tala & M. Edding 1998. Artificial induction of sporulation in *Lessonia* (Phaeophyta, Laminariales). *Journal of Applied Phycology* 10: 399-403.
- Hansen, J. E. 1980. *Physiological considerations in the maniculture of red algae*. In: I. A. Abbott, M. S. Foster & L. F. Ekund (eds.), Pacific Seaweed Aquaculture. Publ. California Sea Grant. Coll. Program, La Jolla . pp. 80-91.
- Hoffmann, A. & B. Santelices 1997. *Flora Marina de Chile Central*, Edición bilingüe. PHAEOPHYTA, Algas Pardas. pp. 189-192.
- Kloareg, B., E. Gall, A. Asensi, C. Billot, F. Crepineau, P. Moulin, C. Boyen, & M. Valero 1999. Molecular and cellular