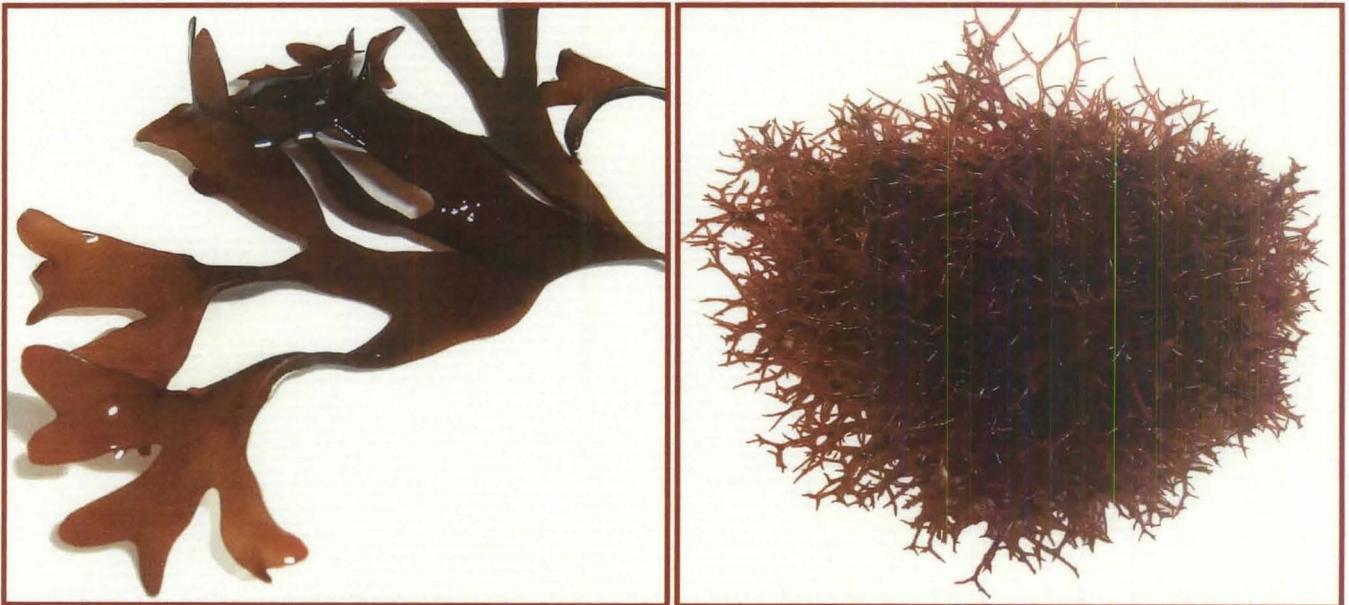


# **Adaptaciones morfológicas y crecimiento de *Grateloupia dichotoma* e *Hypnea spinella* (Rhodophyta) bajo condiciones de cultivo intensivo**

**TRABAJO PARA LA OBTENCIÓN DE LA SUFICIENCIA INVESTIGADORA  
PROGRAMA DE DOCTORADO: GESTIÓN DE RECURSOS MARINOS Y MEDIOAMBIENTE**

**ANA LIRIA LOZA**



**TUTOR: JUAN LUÍS GÓMEZ PINCHETTI**

# Adaptaciones morfológicas y crecimiento de *Grateloupia dichotoma* e *Hypnea spinella* (Rhodophyta) bajo condiciones de cultivo intensivo

Ana Liria Loza

Departamento de Biología, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria  
35017, Las Palmas de Gran Canaria  
e-mail: anapam@yahoo.com

## RESUMEN

La demanda mundial de algas y de compuestos derivados de estas se ha duplicado durante los últimos años. Las algas pardas y rojas son las que poseen mayores posibilidades económicas. Durante los últimos años se han llevado a cabo numerosos estudios para encontrar las mejores condiciones para su cultivo intensivo en tanques o incluso para su uso como biofiltros en sistemas de poliacuicultura integrada. Las algas muestran una gran capacidad de adaptación a diferentes condiciones de crecimiento por lo que es interesante conocer la respuesta de cada especie bajo las condiciones de "estrés" establecidas en cultivo intensivo con el fin de seleccionar el sistema más adecuado para su producción.

En este estudio se describen las adaptaciones morfológica (macroscópicas y microscópicas) de dos especies de algas rojas de interés, *Grateloupia dichotoma* J. Agardh (1842) e *Hypnea spinella* (C. Agardh) Kütz (1847) al someterlas a condiciones de cultivo intensivo. Se describe también la evolución de la concentración de ficobiliproteínas así como la tasa de crecimiento y producción de cada especie.

---

## INTRODUCCIÓN

Las algas han sido utilizadas con fines alimenticios y médicos desde la antigüedad, pero durante el último siglo se han descubierto una serie de propiedades y metabolitos con interés industrial (ficocoloides) que han permitido darles otros usos con un mayor valor económico. Uno de los ficocoloides más comercializado es el agar, utilizado principalmente en los medios de cultivo microbiológico (Reed, 1990) o como gelificante y espesante (Mollion, 1977). Además, las algas y sus derivados se utilizan en cosmética y en biomedicina por sus características gelificantes, su actividad antitumoral, antifúngica, antivíricas, etc. (Couladis, 1998). Su alto contenido en fibra y sales minerales permite utilizarlas como

fertilizantes, por lo que recientemente se han comercializado extractos líquidos de algas con esta finalidad (Levring et al., 1969). Actualmente se investiga la utilización de algas en la depuración de efluentes de piscifactorías cargados con compuestos de nitrógeno (amonio y urea) y fósforo (fosfatos) que al ser asimilados por las algas reducen las posibilidades de eutrofización de las zonas costeras (Biofiltración); desarrollándose sistemas de policultivo integrado en el que las algas cultivadas en estos efluentes sirven como complemento alimenticio para los propios animales del cultivo (Neori et al., 2004).

El alto interés comercial, y por consiguiente, su alta demanda actual, ha promovido el desarrollo de sistemas de cultivo a gran escala, desde sistemas extensivos en mar abierto hasta sistemas intensivos

en tierra, para la obtención de la mayor cantidad de biomasa. Para ello, se han estudiado en profundidad las características biológicas y fisiológicas de las algas en busca de las condiciones óptimas para su crecimiento en condiciones de cultivo.

Las macroalgas poseen excelentes estrategias de supervivencia para aclimatarse a las constantes condiciones de estrés ambientales a las que están expuestas (Chan et al., 2006). Estudios recientes han demostrado que existen adaptaciones en la fotosíntesis y la respiración (Orduña-Rojas et al., 2002), la reproducción (Do Rosario, 1990), el crecimiento (Humm y Kreuzer, 1975) e incluso la morfología (Collado-Vides, 1999) de distintas especies en función de diversos factores como, la temperatura del agua (Lee et al., 1999; Orduña-Rojas y Robledo, 2002); la intensidad (Baghdadli et al., 1994; Duarte y Ferreira, 1995; Kübler y Dudgeon, 1996), la calidad de la luz (Santelices, 1978); la disponibilidad de nutrientes (Durako y Dawes, 1980; Reed et al., 1996); la densidad del cultivo (Creed et al., 1998); la turbulencia del agua (Baghdadli et al., 1990); la profundidad, la competencia entre especies, etc.

Estos factores no afectan a todas las especies por igual, sino que cada especie tiene sus métodos de aclimatación, que dependen principalmente de su comportamiento en la naturaleza y del hábitat en el que viven y se desarrollan. Por ejemplo, Guist et al. (1982) cultivaron especies de *Hypnea*, *Gracilaria* y *Pterocladia* en las mismas condiciones (flujo continuo de agua, agitación y aporte de nitrógeno y fósforo) y observaron como a temperaturas entre 18 y 24 °C, *Hypnea musciformis* crecía tres veces más rápido que las otras dos y mostraba tasas de crecimiento superiores a 10 % d<sup>-1</sup>.

Por todo ello, con el interés de afrontar el cultivo de nuevas especies, es de gran importancia conocer la capacidad y la forma de aclimatación de cada una a los diferentes sistemas de cultivo.

En el presente trabajo se han seleccionado dos especies de macroalgas de la División Rhodophyta (algas rojas), *Grateloupia dichotoma* e *Hypnea spinella*, para determinar las adaptaciones

morfológicas y características de crecimiento al someterlas a condiciones de cultivo intensivo.

## Objetivos

1. Identificar los cambios y adaptaciones morfológicas, macroscópicas y microscópicas, de ambas especies al ser sometidas a la dinámica establecida en un sistema de cultivo intensivo en donde crecen libres en la columna de agua.
2. Estudiar las adaptaciones en cuanto al crecimiento y evolución de la concentración de pigmentos (ficobiliproteínas), en el sistema, con un aporte continuo de nitrógeno en forma de amonio.
3. Establecer el potencial de cada especie para su escalado a nivel de planta piloto.

---

## MATERIAL Y MÉTODOS

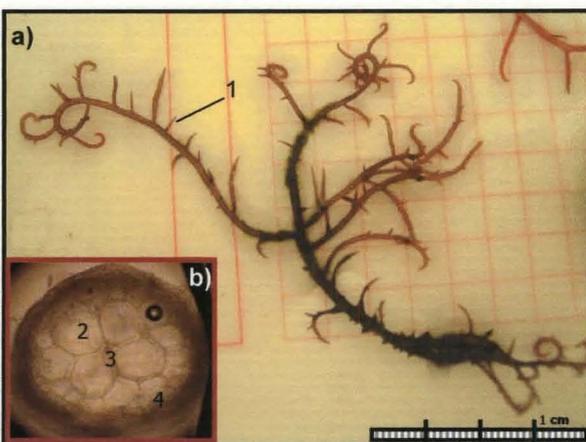
### ESPECIES ESTUDIADAS

Las especies de algas rojas estudiadas fueron *Grateloupia dichotoma* perteneciente al orden Cryptonemiales (Fig. 1), e *Hypnea spinella*, perteneciente al orden Gigartinales (Fig. 2).

*Grateloupia dichotoma* es un alga gelatinosa pero erecta y firme, de 3 a 7 cm de altura, que en la naturaleza crece adherida al sustrato mediante un pie o disco basal de unos 5 mm de diámetro. Estipe corto, hojas simples con forma plana y alargada de 3 a 5 mm de ancho y ramificación principalmente dicótoma. A menudo presenta proliferaciones marginales. Estructura interna multiaxial con una médula de unos 4 - 5 µm de diámetro, rodeada de células gruesas y un córtex exterior de fascículos de células. La encontramos comúnmente adherida a rocas en el intermareal batido por las olas, sometida a una irradiación alta, evitando la presencia de competidores. (Taylor, 1972; Irvine, 2003)

*Hypnea spinella* es un alga filamentosa con aspecto enmarañado y normalmente de pequeño tamaño (de 1 a 3 cm). Color rojo brillante a escarlata. Ramificación principalmente irregular o alterna-espinal y pequeñas proliferaciones con aspecto espinoso. Estructura interna formada por una célula

central pequeña (25 - 40  $\mu\text{m}$ ) y de 4 a 6 células periaxiales más grandes (100 - 320  $\mu\text{m}$ ) rodeadas de dos capas de células corticales (7,5 - 25  $\mu\text{m}$ ). Se suele encontrar en la zona intermareal, formando marañas en las rocas o epífita sobre otras algas. (Schneider y Searles, 1991; Mshigeni y Chapman, 1994; Bangmei y Yongqiang, 1997; Chiang, 1997; Masuda et al., 1997; Yamagishi y Masuda, 1997).



El ciclo reproductor de ambas especies (Fig. 3) es un ciclo de vida trifásico, que consiste en una fase gametofítica de vida libre, otra carposporofítica fijada sobre el gameto femenino, y por último una fase esporofítica, también de vida libre.

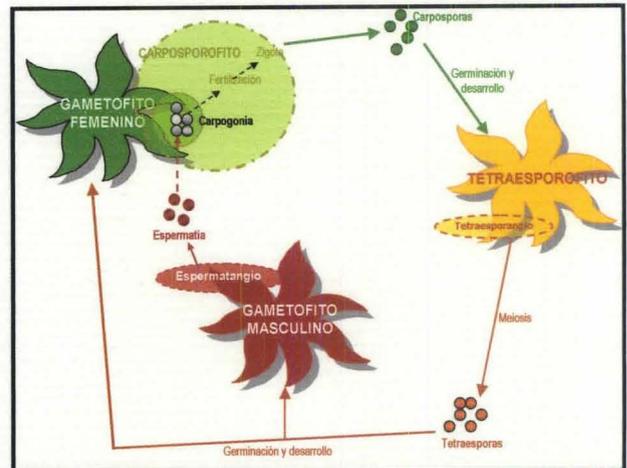


Figura 3: Esquema del ciclo reproductor de algas rojas (Rhodophytas).

### RECOLECCIÓN DE ESPECIES

Los ejemplares de *Grateloupia dichotoma* e *Hypnea spinella* fueron recolectados en la primavera del 2003, el día 15 de Mayo entre las 8 y las 10 de la mañana, coincidiendo con la Bajamar (6h18 -0,21m / 12h34 -2,7m). El lugar de recolección fue la playa de Hoya del Pozo (27°59'N; 15°22'W), en la costa Este de la isla de Gran Canaria.



Figura 4: Localización de la playa de Hoya del Pozo (●). Recogida manual de las algas en el intermareal.

La recolección se hizo manualmente en la zona de charcos intermareales recogiendo ejemplares de *G. dichotoma* entre cuyas ramas se encontraban enredados ejemplares de *H. spinella*. Las algas recogidas se fueron introduciendo en bolsas de plástico que posteriormente se trasladaron hasta el Centro de Algología Aplicada de la ULPGC (Taliarte, Telde). Una vez en el Centro, se realizó una limpieza exhaustiva para eliminar todos los epífitos naturales al igual que otras algas que se hayan podido introducir junto con las dos especies de estudio. Acto

seguido se pesaron y se introdujeron en el sistema de cultivo que se describe a continuación.

El estudio tuvo una duración de 3 meses, desde el día de la recolección (15 de Mayo 2003) hasta el 12 de Agosto del 2003.

### CONDICIONES DE CULTIVO

La biomasa de algas recolectadas se inoculó en un fotobiorreactor de fibra de vidrio traslúcido con un volumen de 85 litros y una superficie de 0.083 m<sup>2</sup>, con un sistema de burbujeo de aire de forma continua (Fig. 5 y 6). Al fotobiorreactor se le instaló un dispositivo de entrada continua de agua de mar (circuito abierto) enriquecida con NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (concentración media: 200 μM) proveniente de los efluentes de un tanque de cultivo de doradas (*Sparus aurata*).

El fotobiorreactor, en el que las algas crecen libres en la columna de agua, se situó en el interior de un invernadero. La irradiación máxima media medida con un sensor ELDONET durante el período experimental fue 1975 ± 98 μmoles de fotones m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>. La temperatura media del agua fué de 24,2 ± 1 °C y la salinidad se mantuvo constante (36,00 ‰) durante todo el periodo experimental.

En estas condiciones, y para el diseño experimental planteado, no se realizaron ajustes de densidad de las especies en cultivo. Cada semana se cosechaba la biomasa total de cada especie, después de escurrida era limpiada de algas epífitas, pesada y reinoculada en el sistema.

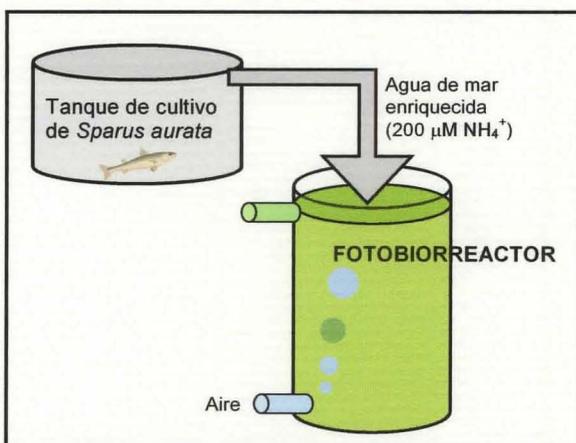


Figura 5: Esquema del Sistema de Cultivo Intensivo.



Figura 6: Fotografía del Sistema de Cultivo Intensivo.

### PROCESOS Y ANÁLISIS REALIZADOS

Para los análisis se seleccionaron semanalmente de 3 a 5 ejemplares al azar de cada especie.

#### Estudio Morfológico Macroscópico:

El estudio Morfológico macroscopico se llevó a cabo mediante series de fotografías con una cámara digital Fujifilm FinePix A203.

#### Estudio Morfológico Microscópico:

Las muestras de cada especie se conservaron en agua de mar con formol al 4%. Posteriormente se llevó a cabo su observación con una lupa binocular Olympus SZ-PT y un microscopio óptico Olympus BX40, ambos conectados a una cámara digital Olympus DP11 con la que también se hicieron series de fotos a nivel microscópico. Los cortes de los ejes principales, ramas y estructuras reproductoras se realizaron manualmente bajo la lupa binocular.

#### Producción y Tasa de Crecimiento:

Semanalmente con los datos de peso fresco escurrido se calcularon los siguientes parámetros:

Producción (P) (De Boer & Ryther, 1978):

$$P = (P_t - P_o) / t) (PS/PH) / V$$

Donde la Producción (P) se mide en g PS l<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>; t son los días transcurridos entre dos muestreos. P<sub>o</sub> es el peso inicial. P<sub>t</sub> es el peso a los t días transcurridos. V es el volumen (85 l). La relación PS/PH (peso seco/peso fresco) fue calculada secando a 80 °C

durante 12 h muestras por triplicado de cada especie. Para *Grateloupia dichotoma* PS/PH= 0,25 y para *Hypnea spinella* PS/PF= 0,11.

La Tasa de Crecimiento (T.C.) fue calculada de acuerdo a D' Elia & De Boer (1978):

$$T.C. = 100 \ln (P_t / P_o) / t$$

Donde  $P_o$  es el peso inicial y  $P_t$  es el peso al cabo de los  $t$  días;  $t$  son los días transcurridos.

#### Determinación de Pigmentos

La concentración de ficobiliproteínas (característicos de ambas especies) se determinó semanalmente. De 6 a 8 muestras de 100 mg de cada especie fueron recolectadas y conservadas congeladas a  $-20$  °C.

Para la determinación de la concentración de ficoeritrina (FE) y ficocianina (FC) se utilizó el procedimiento de Beer y Eshell (1985). Las muestras fueron trituradas y resuspendidas en 3 ml de tampón fosfato (pH 6) y centrifugadas durante 5 minutos a 8000 rpm y 5 °C. Los sobrenadantes fueron medidos espectrofotométricamente y la concentración de pigmentos calculados en  $\text{mg ml}^{-1}$  de acuerdo con las fórmulas:

$$FE = [(A_{564} - A_{592}) - (A_{455} - A_{592}) 0,2] 0,12$$
$$FC = [(A_{618} - A_{645}) - (A_{592} - A_{645}) 0,51] 0,15$$

donde  $A$  es la absorbancia a la longitud de onda correspondiente. Los datos se normalizaron a  $\text{mg g}^{-1}$  PF.

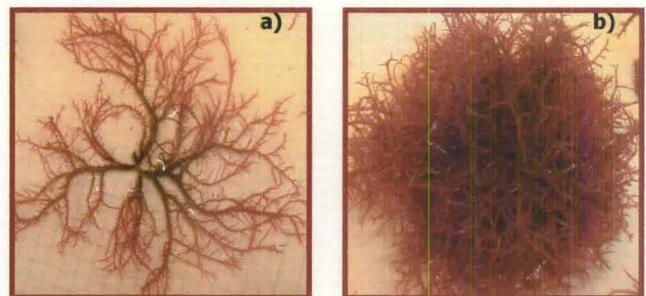
## RESULTADOS

### **ESTUDIO MORFOLÓGICO MACROSCÓPICO**

La especie *Grateloupia dichotoma* (Láminas 1 y 2) sufrió una clara adaptación morfológica al sistema de cultivo. Con respecto al color, se observó un oscurecimiento progresivo, pasando de un tono marrón claro hasta un marrón-rojizo muy oscuro, así como un fuerte aumento del brillo. Con respecto a la morfología se observó la transformación de una estructura aplanada con ramas lisas y alargadas, no muy ramificadas, en la que se diferencia claramente el eje principal y que se divide siempre en un mismo plano, a una estructura mucho más voluminosa, con

aspecto de "bola", fuertemente ramificada en la que no se diferencia el eje principal y las ramas giran y se ramifican en todas las direcciones. El crecimiento de esta especie comenzó con el aumento de longitud (1 - 3 cm semanales) de las ramas principales y secundarias (durante las 3 primeras semanas) que se detuvo para continuar con un crecimiento en volumen gracias a una ramificación intensiva. El ancho de las ramificaciones se mantuvo constante (de 5 a 8 mm) a lo largo de todo el estudio. Durante el periodo experimental se observó la ramificación dicótoma propia y característica de esta especie, aunque durante las primeras semanas se observó en los ápices de las ramas principales y en un mismo plano y en las últimas semanas por todo el individuo y en todas las direcciones. Después de las 3 primeras semanas de cultivo se produjo la pérdida del pie o disco basal, y la aparición de proliferaciones marginales que fueron creciendo rápidamente desde 1 mm inicial hasta 1 cm de longitud en las últimas semanas. A partir de la 5ª semana se pudieron observar las nuevas proliferaciones en todas las ramificaciones.

La especie *Hypnea spinella* (Láminas 3, 4 y 5) igualmente mostró una clara adaptación al sistema de cultivo, modificando su coloración pasando de un marrón-rojizo muy oscuro a un tono rojo mucho más claro, intenso y brillante. Con respecto a la morfología, se observó el desarrollo de dos morfologías diferentes (Fig. 7).



**Figura 7:** Morfologías de *Hypnea spinella*. a) Morfología 1. b) Morfología 2.

La Morfología 1, (Lámina 4) se desarrolló a partir de ramas simples, poco ramificadas, de 3 - 4 cm de longitud y 1 mm de ancho, con una ramificación alterna o irregular y muy epifitadas, que se

desarrollaron muy lentamente durante las 5 primeras semanas. A partir de ese momento su crecimiento y ramificación se aceleraron fuertemente pasando de los 4 - 6 cm hasta los 12 - 15 cm del final del estudio. Todas las ramificaciones se produjeron en un mismo plano dando una estructura plana, muy ramificada y densa pero poco voluminosa.

Los ejemplares de la Morfología 2 (Lámina 5), comenzaron siendo pequeños enramados de 1 - 2 cm de longitud en los que no se diferencian las ramas principales, debido a la densa ramificación. La ramificación era alterna o irregular con ramificaciones apicales de tipo dicotómico (Lamina 8, Foto B). A partir de la 3ª semana empezaron a crecer y a ramificarse intensamente en todas las direcciones dando un aspecto mucho más compacto y voluminoso, adquiriendo morfología de "bola". Estas "bolas", fueron aumentando en tamaño, volumen y compactación hasta llegar a un tamaño de 7 cm de diámetro en las últimas semanas.

Se observó la aparición de estructuras similares a "ganchos" (Lámina 8; Foto C) típicos de la especie *Hypnea musciformis* durante las semanas 3, 4 y 5. Estas estructuras se apreciaban a simple vista en la Morfología 1 (Lámina 4), mientras que en la 2 solo se observaron bajo la lupa binocular (Lámina 8; Foto A).

*Grateloupia dichotoma* y la morfología 2 de *Hypnea spinella* no presentaron estructuras reproductoras mostrando un crecimiento vegetativo. En cambio, si se encontraron estructuras reproductoras en la Morfología 1 (espermatangios). (Lámina 8: Fotos E, F, G y H).

### ESTUDIO MORFOLÓGICO MICROSCÓPICO

A nivel microscópico no se observaron modificaciones morfológicas importantes en ninguna de las 2 especies ensayadas. En *Grateloupia dichotoma* (Lámina 6) solo se apreciaron ligeras variaciones en la densidad de la médula. En el caso de *Hypnea spinella* (Lámina 7) solo se observó una diferencia a nivel interno entre las dos morfologías desarrolladas por esta especie (Tabla 1).

Tabla 1.- Medidas celulares (en micras) de la estructura interna de cada una de las morfologías de *Hypnea spinella*.

	Diámetros Celulares (µm)		
	célula central	célula pericentral	célula cortical
MORFOLOGÍA 1	74,7	96,3	25,4
MORFOLOGÍA 2	43,0	127,5	17,6

### PRODUCCIÓN Y TASA DE CRECIMIENTO

En la Tabla 2 se muestran los datos de producción y crecimiento de las especies ensayadas. Ambas especies aumentaron su biomasa a lo largo del periodo experimental aunque los datos medios obtenidos para *Grateloupia dichotoma* fueron menores con respecto a los obtenidos para *Hypnea spinella*.

Tabla 2.- Variaciones semanales medias del peso fresco, tasa de crecimiento y producción de las especies *G. dichotoma* e *H. spinella*.

Especie	PESO FRESCO	TASA CRECIMIENTO	PRODUCCION
	g PS semana <sup>-1</sup>	% d <sup>-1</sup> media ± SD	g PS L <sup>-1</sup> semana <sup>-1</sup> media ± SD
<i>Grateloupia dichotoma</i>	28,6	0,9 ± 0,6	4,9 ± 2,8
<i>Hypnea spinella</i>	84,5	6,5 ± 0,8	20,3 ± 16,8

### ESTUDIO DE PIGMENTOS

En la Fig. 8 se presentan los datos obtenidos para la evolución en la concentración de ficoeritrina para las dos especies durante el periodo experimental. *G. dichotoma* tuvo un incremento acusado durante la primera semana de cultivo (pasando de 0,22 ± 0,08 a 0,96 ± 0,31 mg g<sup>-1</sup> PF) permaneciendo constante el resto del experimento. La concentración de ficoeritrina de *H. spinella* se mantuvo constante durante las primeras semanas, (oscilando alrededor del 0,82 ± 0,4 mg g<sup>-1</sup> PF), duplicando su concentración en las semanas finales (pasó de 1,07 ± 0,13 a 2,09 ± 0,45 mg g<sup>-1</sup> PF). La concentración de

ficocianina evolucionó de la misma manera que la ficoeritrina pero oscilando entre valores mucho más pequeños (entre 0 y 0,3 mg g<sup>-1</sup> PF).

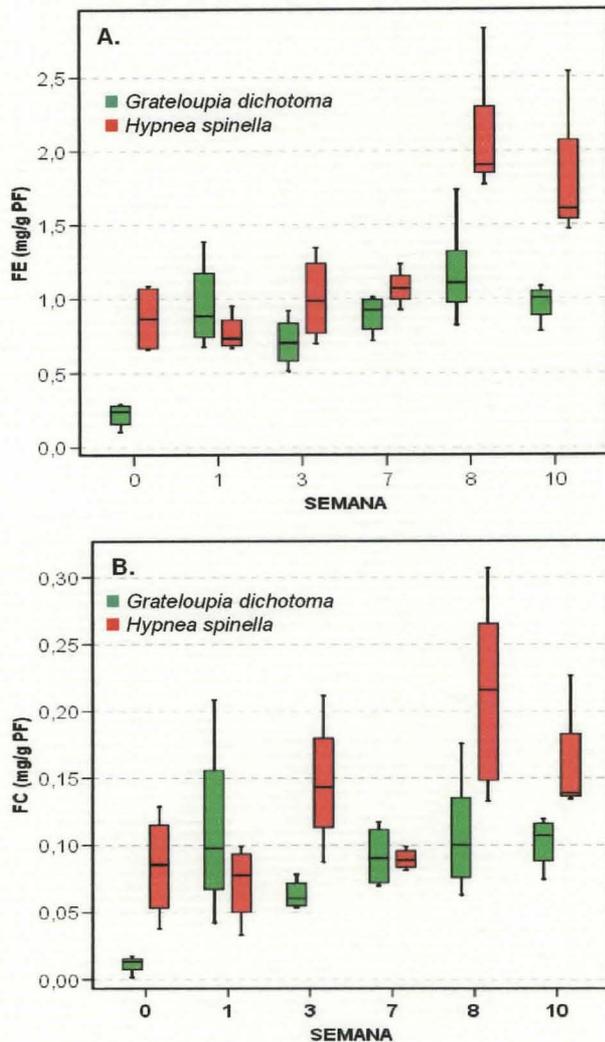


Figura 8. Evolución en la concentración de ficobiliproteínas. A. Ficoeritrina (FE). B. Ficocianina (FC) de *G. dichotoma* e *H. spinella* durante el período experimental.

## DISCUSIÓN

Ambas especies mostraron una clara adaptación morfológica al sistema de cultivo ensayado. Por un lado se adaptaron a la condición de flotación libre adquiriendo una morfología mucho más voluminosa, con aspecto de bola, aumentando el número de

ramificaciones en todas las direcciones. Esta adaptación se ha observado en otras especies, como *Soliera filiformis*, en condiciones de flotación libre (Gómez-Pinchetti et al., 1992). *G. dichotoma* perdió el pie o disco basal que le sirve para adherirse a las rocas en su hábitat natural.

*Hypnea spinella* desarrolló dos variantes morfológicas bajo las mismas condiciones de cultivo, una morfología de crecimiento medio con un fuerte aumento en el número y longitud de las ramas laterales aunque siempre en un mismo plano, y una morfología con forma de bola con una densa ramificación. En la primera se encontraron estructuras reproductoras (espermatángios) y en la segunda no, por lo que su diferencia morfológica pudo ser debida a su diferente estadio reproductivo.

A nivel microscópico no se observaron cambios en su organización celular interna, lo que puede interpretarse como una respuesta positiva ante situaciones de estrés.

El aporte de amonio como fuente de nutrientes estimula fuertemente el crecimiento vegetativo (Guist et al., 1982), característica interesante para su cultivo a nivel industrial ya que este crecimiento es más rápido que el obtenido con algas que presentan reproducción sexual. Esta característica se pudo comprobar en el desarrollo de las dos morfologías de *Hypnea spinella*. La morfología 2 (estado vegetativo) mostró un crecimiento, tanto en biomasa como en tasa de crecimiento, mucho mayor que la morfología 1 de la misma especie (estado reproductivo).

La alta disponibilidad de nitrógeno en el tanque también permite que las algas puedan producir proteínas con más facilidad, por lo que es lógico el aumento de la concentración de ficobiliproteínas en ambas especies a lo largo del estudio. Esta característica se vio reflejada externamente en el oscurecimiento y el aumento de brillo de ambas especies.

La principal diferencia observada entre ambas especies fue que *Grateloupia dichotoma* se adaptó al cultivo rápidamente, durante las 2 primeras semanas y después se mantuvo constante, tanto en crecimiento y producción como en concentración de ficobiliproteínas. Esto puede ser debido a que se

*G. dichotoma* muestra un tipo de vida "especialista", es decir, que en condiciones favorables se adapta y desarrolla rápidamente hasta cubrir sus necesidades y poder mantenerse en condiciones de crecimiento limitantes. Sin embargo, *Hypnea spinella* se aclimató lentamente, priorizando su crecimiento y desarrollo durante las primeras semanas y mostrando valores de producción y concentración de ficobiliproteínas superiores en las 2 últimas semanas.

*Hypnea spinella*, al igual que *H. musciformis* en el estudio de Guist et al (1982), y en comparación con *Grateloupia dichotoma*, presentó tasas de crecimiento y producción mayores, propio de especies con tipo de vida "oportunistas". Esta característica le da unas grandes posibilidades para su cultivo a nivel industrial.

---

## CONCLUSIONES

- Ambas especies se adaptaron eficazmente al sistema de cultivo intensivo en el fotobiorreactor ensayado.
- Ambas especies adaptaron su morfología a la condición de turbulencia y flotación libre adquiriendo morfologías voluminosas con aspecto de bola.
- El aporte de amonio al medio estimuló el crecimiento vegetativo y la producción de ficobiliproteínas, siendo dos características interesantes para el desarrollo de un cultivo de tipo intensivo.
- *Grateloupia dichotoma* mostró características de organismo "especialista" capaz de adaptarse a las condiciones de crecimiento establecidas en cultivo durante períodos cortos de tiempo.
- *Hypnea spinella* muestra características de especie "oportunistas" con la que es posible establecer períodos de cultivos mucho más prolongados. La capacidad de crecimiento vegetativo y su alto contenido en ficoeritrina establecen sus posibilidades para ser utilizada en cultivos a escala industrial.

---

## Agradecimientos

Quiero agradecer a todo el personal del Centro de Algología Aplicada de la ULPGC (Taliarte, Telde), por su paciencia y su ayuda prestada en todo momento, y especialmente a Sonia Suárez por guiarme en el mundo de las algas.

---

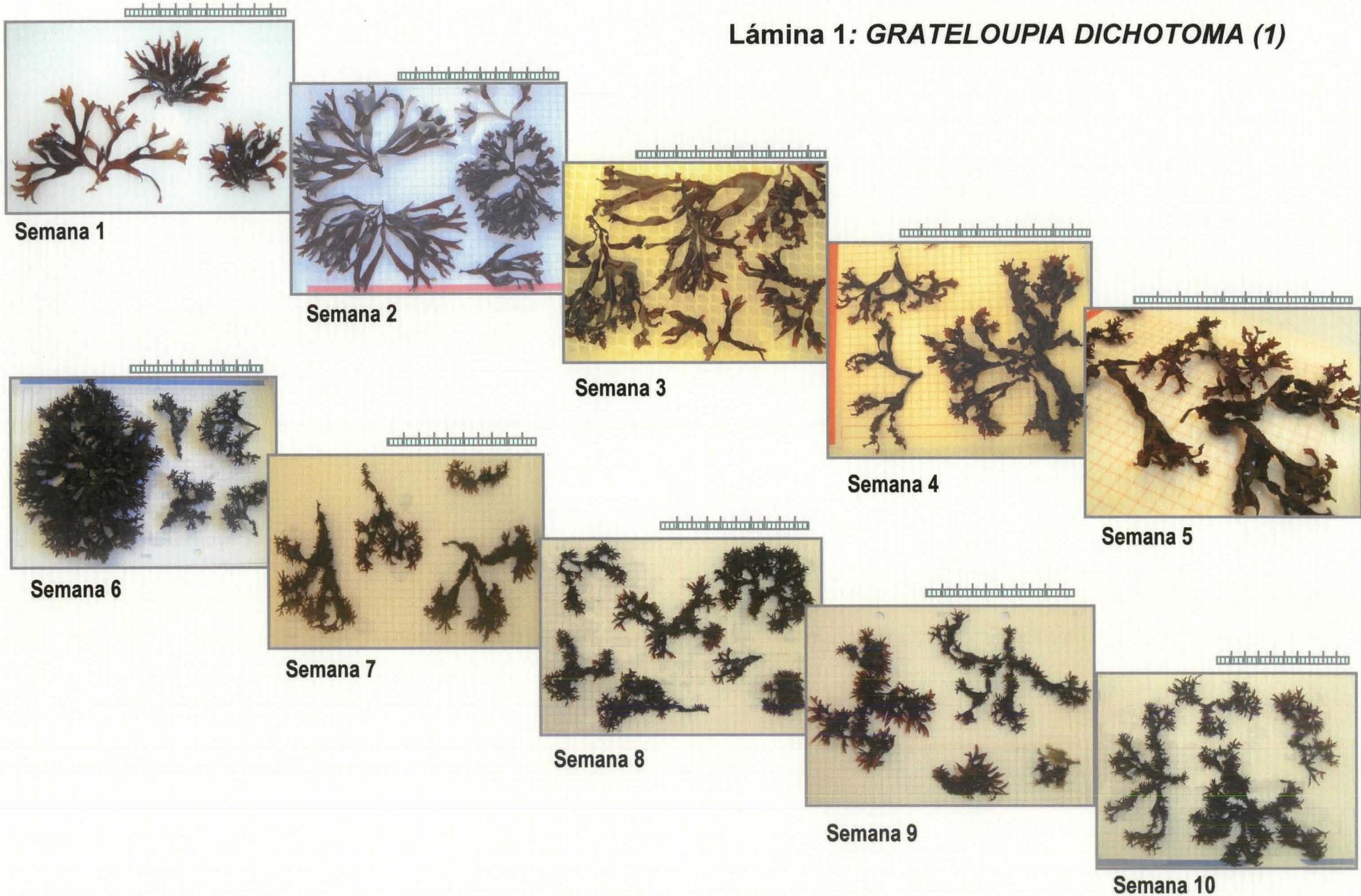
## BIBLIOGRAFÍA

- BAGHDADLI D., TREMBLIN G. & DUCHER M. (1994). *The effects of light quality on Growth, Photosynthesis and Development in Cultivated thalli of Cystoseira barbata C. Ag. f. aurantia (Kütz.) Giaccone (Phaeophyceae, Fucales)*. *Botanica Marina*, 37, 43-50.
- BAGHDADLI D., TREMBLIN G., PELLEGRINI M. & COUDRET A. (1990). *Effects of environmental parameters on net photosynthesis of a free-living seaweed Cystoseira barbata f. repens; determination of optimal photosynthetic culture conditions*. *J. Appl. Phycol.*, 2, 281-287.
- BANGMEI X. & YONGQIANG W. (1997). *Some species of the genus Hypnea (Gigartinales, Rhodophyta) from China*. En *TAXONOMY OF ECONOMICS SEAWEEDS: With reference to some Pacific species*. Vol. 4 (4), 193-205.
- CHAN C., HO C. & PHANG S. (2006). *Trends in seaweeds research*. *Trends in Plant Science*, 11 (4), 165-166.
- CHIANG Y. (1997). *Species of Hypnea Lamouroux (Gigartinales, Rhodophyta) from Taiwan*. *TAXONOMY OF ECONOMIC SEAWEED: With reference to some Pacific species*. Vol. 4 (4), 163-175.
- COLLADO-VIDES L. (1999). *Morphology and Photosynthesis of Caulerpa (Chlorophyta) in relation to Growth form*. *Journal of Phycology*, 35, 325-330.
- COULADIS M., VAGIAS C., ROUSSIS V., VERYKOKIDOU E. & SKAL TSA H. (1998). *Antiphage properties of some Greek algae extracts*. *PHYTOMEDICINE*, 5, 479-483.
- CREED J.C., KAIN J.M. & NORTON T.A. (1998). *An experimental evaluation of density and plant size in two large brown seaweeds*. *Journal of Phycology*, 34, 39-52.
- DO ROSARIO M. (1990). *Reproductive characteristics of Gigartina teedii (Roth) Lamouroux (Rhodophyta, Gigartinales), a Turf-forming species: Field and Laboratory Culture studies*. *Botanica Marina*, 33, 401-409.
- DUARTE P. & FERREIRA J.G. (1995). *Seasonal adaptation and shortterm metabolic responses of Gelidium sesquipedale to varying light and temperature*. *Mar.Ecol.Prog.Ser.*, 121, 289-300.
- DURAKO M.J. & DAWES C.J. (1980). *A comparative seasonal study of two populations of Hypnea musciformis from the East and West Coast of Florida, USA. I. Growth and chemistry*. *Mar.Biol.*, 59, 151-156.
- DURAKO M.J. & DAWES C.J. (1980). *A comparative seasonal study of two populations of Hypnea musciformis from the East and West Coasts of Florida, USA. II. Photosynthetic and respiratory rates*. *Mar.Biol.*, 59, 162.

- GÓMEZ-PINCHETTI J.L., RAMAZANOV Z. & GARCÍA-REINA G. (1992). *Effect of inhibitors of carbonic anhydrase activity on photosynthesis in the red alga Soliera filiformis (Gigartinales: Rhodophyta)*. *Marine Biology* 114, 335-339.
- GUIST G.C., DAWES C.J. & CASTLE J.R. (1982). *Mariculture of the Red seaweed, Hypnea musciformis*. *Aquaculture*, 28, 375-384.
- HUMM H.J. & KREUZER J. (1975). *On the growth rate of the red algae Hypnea musciformis, in the Caribbean sea*. *Carib.J.Sci.*, 15, 1-7.
- IRVINE L.M. (2003). *Rhodophyta: Cryptonemiales (Palmariales, Rhodymeliales)*. *Grateloupia*. *SEAWEEDS OF THE BRITISH ISLES* pp. 22-29.
- KÜBLER J.E. & DUDGEON S.R. (1996). *Temperature dependent change in the complexity of form of Chondrus crispus fronds*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 270, 15-24.
- LEVRING T. (1969). *Fertilization experiments with Horinosira Banksii (Trrn.)*. *Physiologia plantarum*, 2, 45-55.
- MASUDA M., YAMAGISHI Y., CHIANG Y., LEWMANOMONT K. & BANGMEI X. (1997). *Overview of Hypnea (Rhodophyta, Hypneaceae)*. *TAXONOMY OF ECONOMIC SEAWEED: With reference to some Pacific species*. Vol. 4 (4), 125-131.
- MOLLION M.J. (1977). *Seasonal variations in carrageenan from Hypnea musciformis in Senegal*. *Journal of Phycology*, 13, 46-46.
- MSHIGENI K.E. & CHAPMAN D.J. (1994). *Hypnea (Gigartinales, Rhodophyta)*. *BIOLOGY OF ECONOMIC ALGAE*. 245-273.
- NEORI A., CHOPIN T., TROELL M., BUSCHMANN A.H., KRAEMER G.P., HALLING C., SHPIGEL M. & YARISH C. (2004). *Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture*. *Aquaculture* 231, 361-391.
- ORDUÑA-ROJAS J. & ROBLEDO D. (2002). *Studies on the tropical Agarophyte Gracilaria cornea J. Agardh (Rhodophyta, Gracilariales) from Yucatán, México. II. Biomass Assessment and Reproductive Phenology*. *Botanica Marina*, 45, 459-464.
- ORDUÑA-ROJAS J., ROBLEDO D. & DAWES C.J. (2002). *Studies on the tropical Agarophyte Gracilaria cornea J. Agardh (Rhodophyta, Gracilariales) from Yucatán, México. I. Seasonal physiological and biochemical Responses*. *Botanica Marina*, 45, 453-458.
- REED D.C. (1990). *An experimental evaluation of density dependence in a subtidal algal population*. *Ecology*, 71, 2286-2296.
- REED D.C., EBELING A.W., ANDERSON T.W. & ANGHERA M. (1996). *Differential reproductive responses to fluctuating resources in two seaweeds with different reproductive strategies*. *Ecology*, 77, 300-316.
- SANTELICES B. (1978). *The morphological variation of Pterocladia caerulescens (Gelidiales, Rhodophyta) in Hawaii*. *Phycologia*, 17, 53-59.
- SCHNEIDER C.W. & SEARLES R.B. (1991). *Hypneaceae*. *SEAWEEDS OF THE SOUTHEASTERN UNITED STATES*. Cape Hatteras to Cape Canaveral. pp. 304-309. Durham and London.
- TAYLOR W.R. (1972). *Marine algae of the eastern tropical and subtropical coasts of the Americas*. UNIVERSITY OF MICHIGAN PRESS, MI.
- TSE-MIN LEE, YUAN-CHUN CHANG & YAW-HUEI LIN (1999). *Differences in physiological responses between winter and summer Gracilaria tenuistipitata (Gigartinales, Rhodophyta) to varying temperature*. *Bot.Bull.Acad.Sin.*, 49, 93-100.
- YAMAGISHI Y. & MASUDA M. (1997). *Species of Hypnea from Japan*. *TAXONOMY OF ECONOMIC SEAWEED: With reference to some Pacific species*. Vol. 4 (4), 135-162.

# LÁMINAS

Lámina 1: *GRATELOUPIA DICHOTOMA* (1)



**Lámina 1:** Serie fotográfica de los ejemplares seleccionados cada semana de *Grateloupia dichotoma* para la observación de las modificaciones morfológicas macroscópicas. (En los cuadros de escala cada línea exterior marca 1cm)

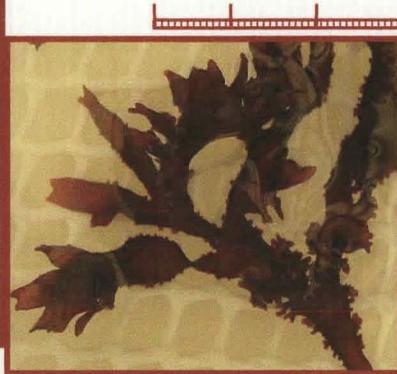
Lámina 2: *GRATELOUPIA DICHOTOMA* (2)



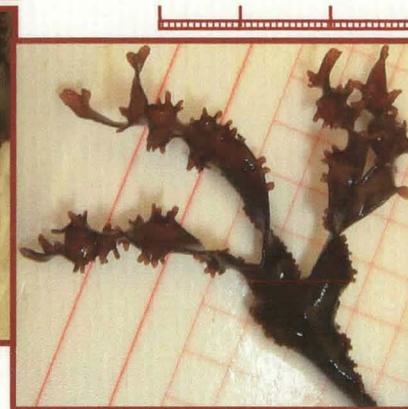
Semana 1



Semana 2



Semana 3



Semana 4



Semana 5



Semana 6



Semana 7



Semana 8



Semana 9



Semana 10

**Lámina 2:** Serie fotográfica en detalle de los ejemplares seleccionados cada semana de *Grateloupia dichotoma* para la observación de las modificaciones morfológicas macroscópicas. (En los cuadros de escala cada línea exterior marca 1cm)

Lámina 3: *HYPNEA SPINELLA*

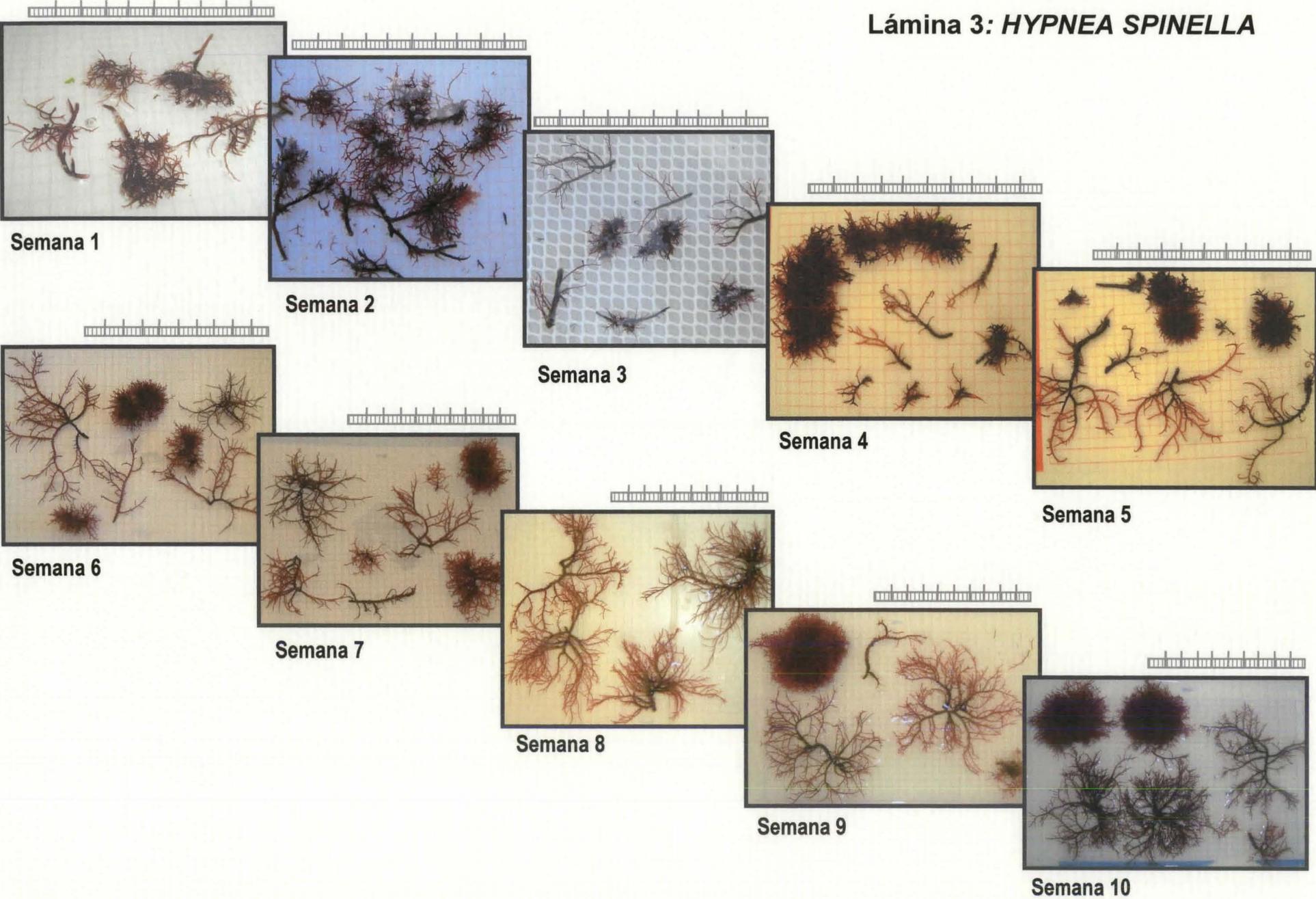


Lámina 3: Serie fotográfica de los ejemplares seleccionados cada semana de *Hypnea spinella* para la observación de las modificaciones morfológicas macroscópicas. (En los cuadros de escala cada línea exterior marca 1cm)

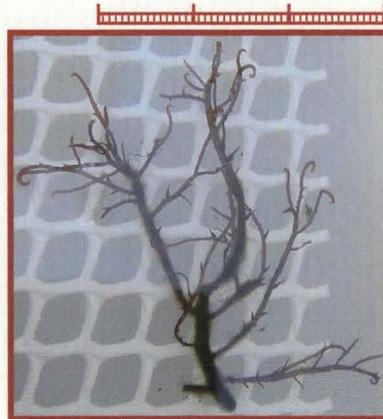
Lámina 4: *HYPNEA SPINELLA* ( Morfología 1)



Semana 1



Semana 2



Semana 3



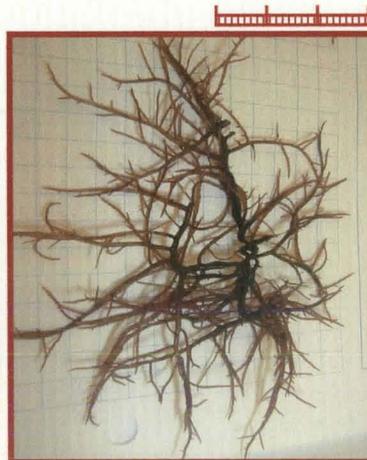
Semana 4



Semana 5



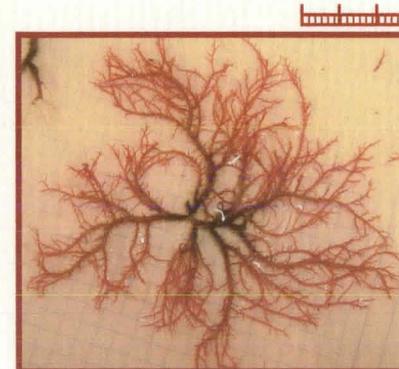
Semana 6



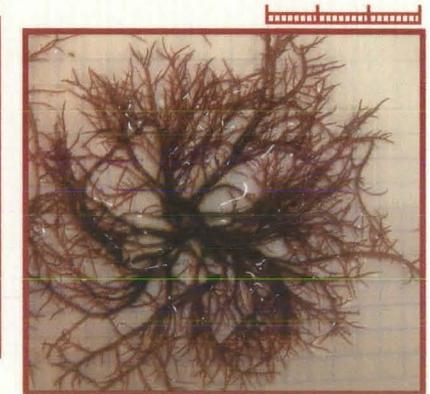
Semana 7



Semana 8



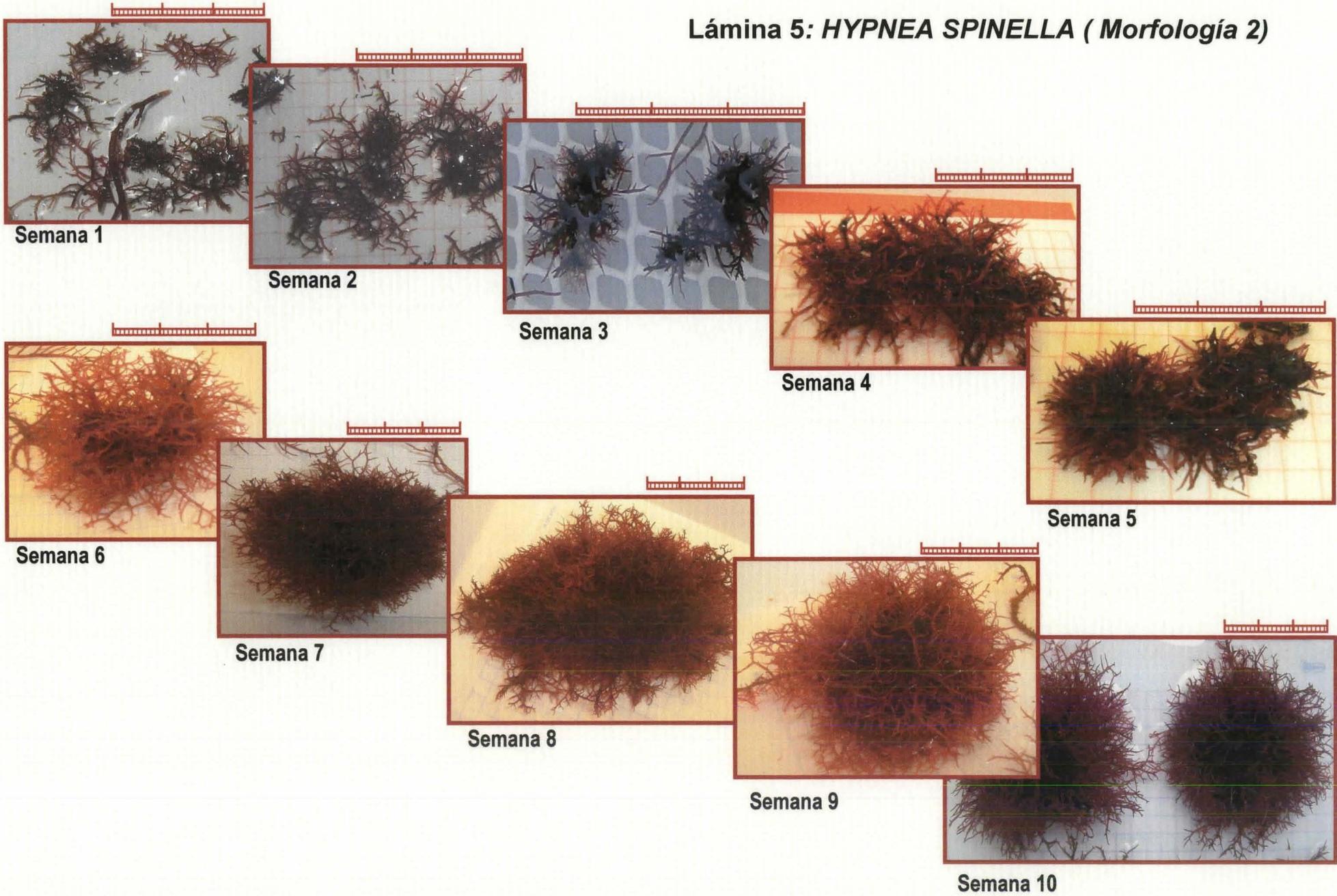
Semana 9



Semana 10

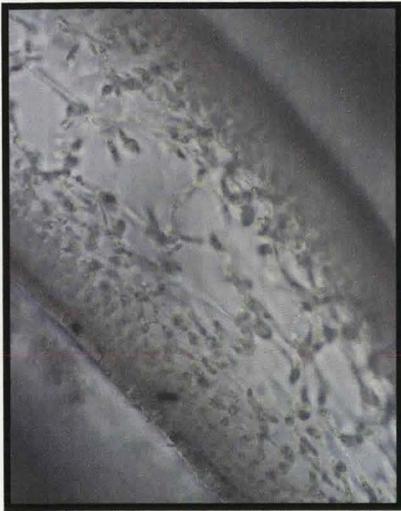
**Lámina 4:** Serie fotográfica en detalle de los ejemplares seleccionados cada semana de *Hypnea spinella* de una de las morfologías encontradas (Morfología 1) (En los cuadros de escala cada línea exterior marca 1cm)

Lámina 5: *HYPNEA SPINELLA* ( Morfología 2)



**Lámina 5:** Serie fotográfica en detalle de los ejemplares seleccionados cada semana de *Hypnea spinella* de una de las morfologías encontradas (Morfología 2) (En los cuadros de escala cada línea exterior marca 1cm)

Lámina 6: *GRATELOUPIA DICHOTOMA* (Microscopio)



Semana 1



Semana 2



Semana 3



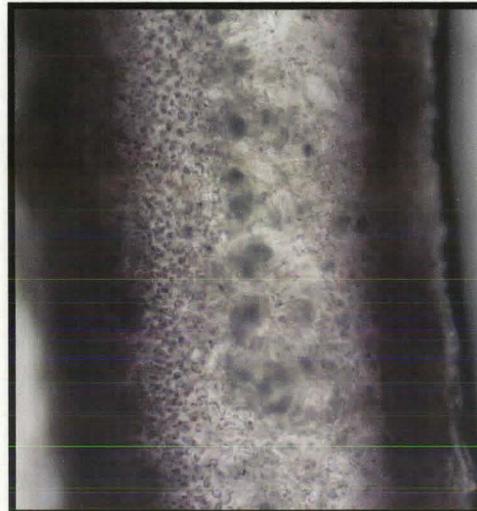
Semana 4



Semana 6



Semana 7



Semana 8

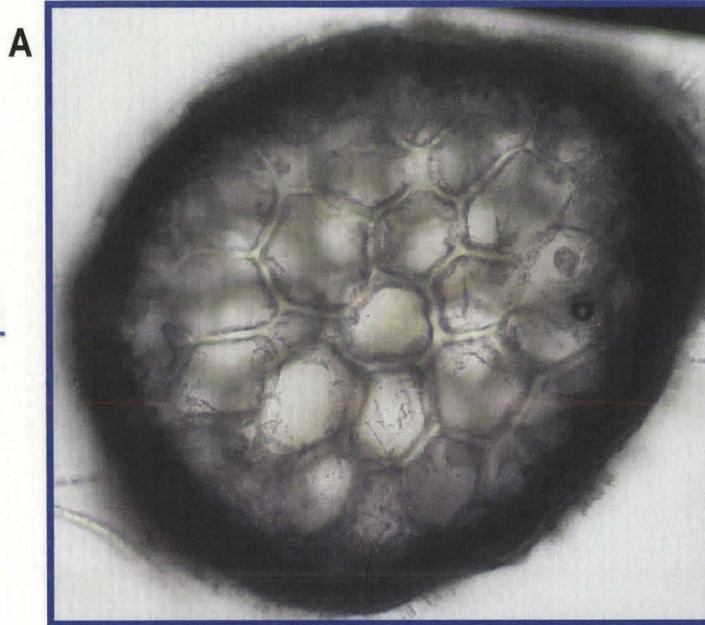


Semana 10

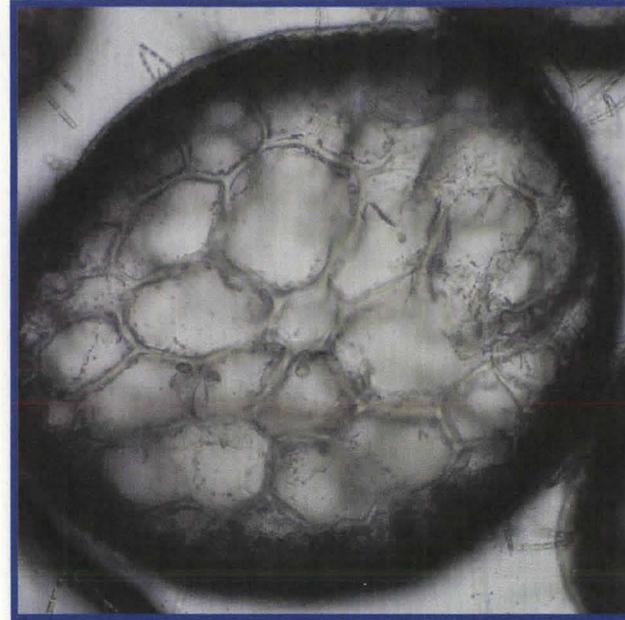
**Lámina 6:** Serie de fotografías microscópicas de los ejemplares seleccionados cada semana de *Grateloupia dichotoma*

Lámina 7: *HYPNEA SPINELLA* (Microscopio)

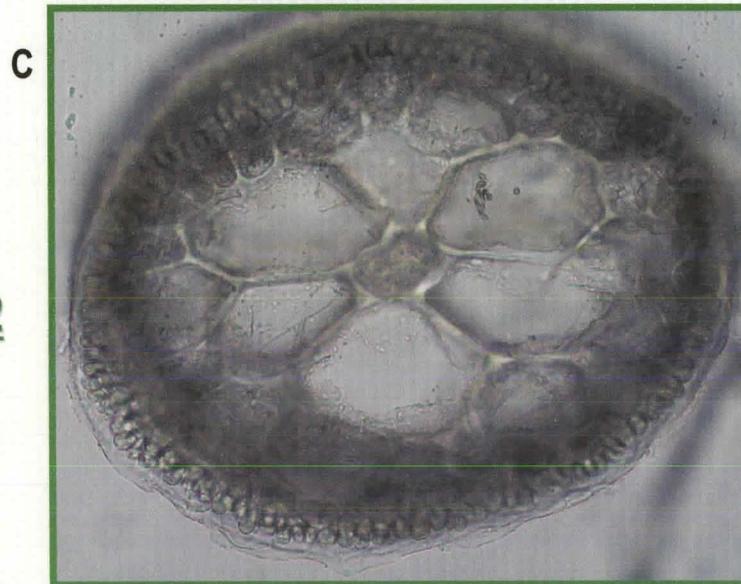
Morfología 1



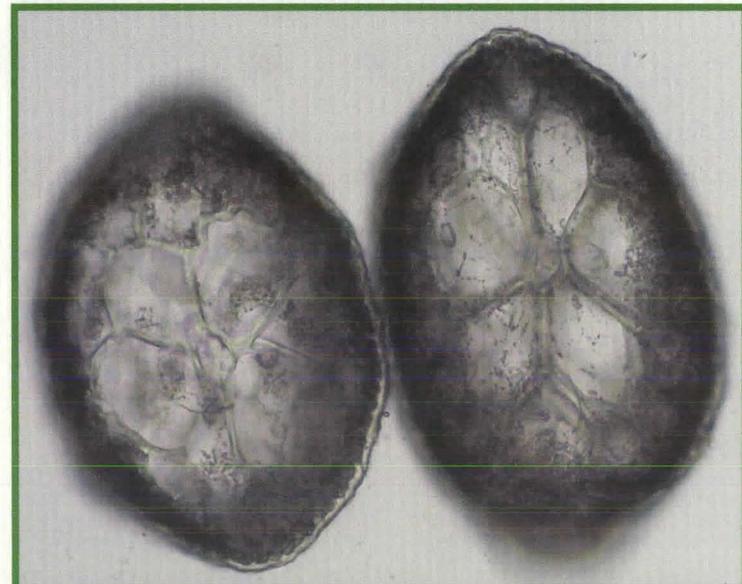
B



Morfología 2

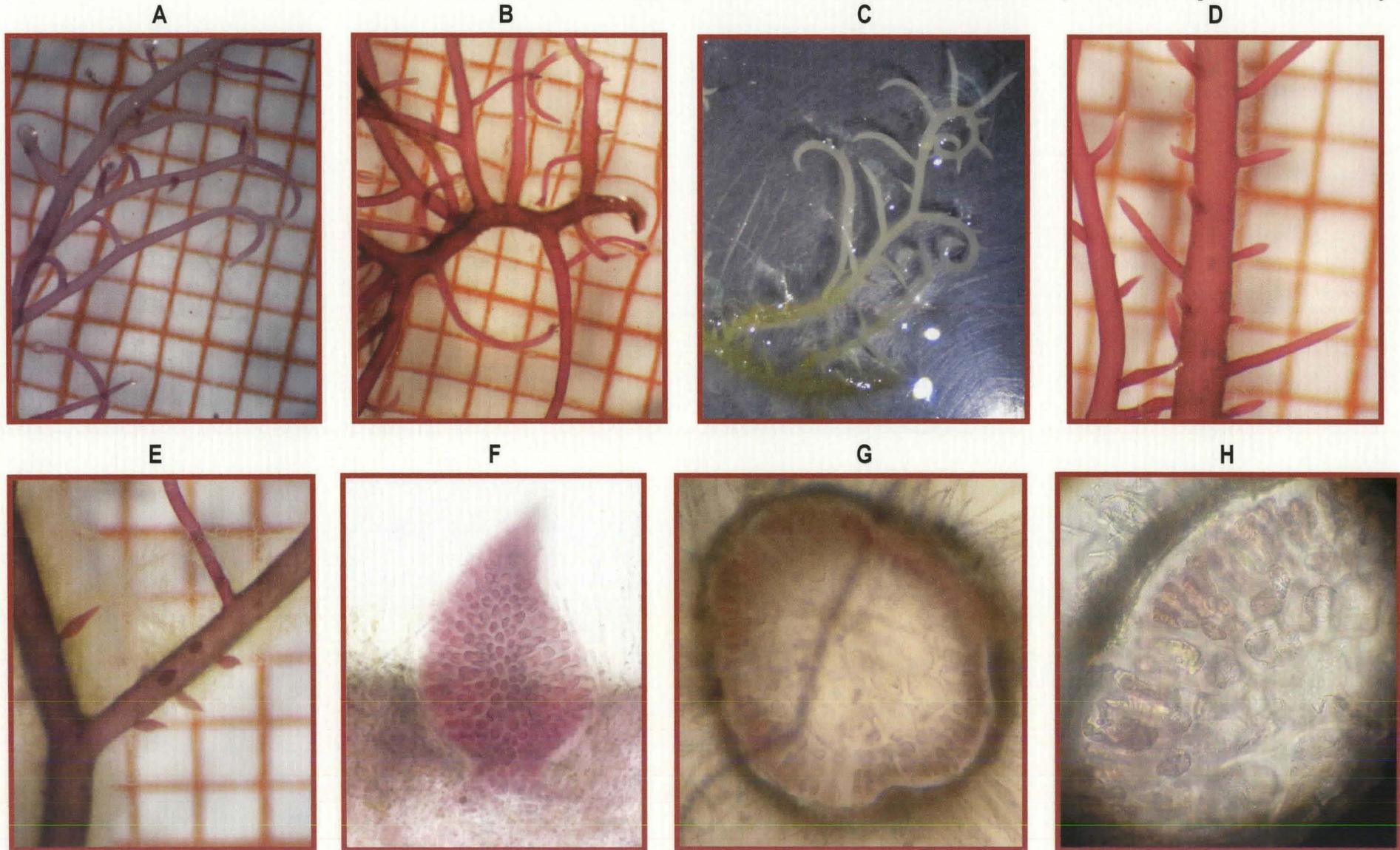


D



**Lámina 7:** Fotografías microscópicas de las dos morfologías de *Hypnea spinella*. **A)** Fotografía de un ejemplar con Morfología 1 de la semana 5. **B)** Fotografía de un ejemplar con Morfología 1 de la semana 10. **C)** Fotografía de un ejemplar con Morfología 2 de la semana 5. **D)** Fotografía de un ejemplar con Morfología 2 de la semana 10.

Lámina 8: *HYPNEA SPINELLA* (Microscopio - Detalles)



**Lámina 8:** **A)** Detalle de un ejemplar de *H. spinella* con Morfología 2. **B)** Ramificación irregular de ramas principales de un ejemplar de *H. spinella* con Morfología 2. **C)** Detalle de los ápices de un ejemplar de *H. spinella* con Morfología 1. **D)** Ramificación alterno-espiral de un ejemplar de *H. spinella* con Morfología 1. **E)** Espermatangios dispuestos en la base de ramas principales de un ejemplar de *H. spinella* con Morfología 1. **F)** Espermatangio. **G)** Corte transversal de un espermatangio. **H)** Detalle del corte transversal de un espermatangio.



## FE DE ERRATA

Tras encontrar un error en las unidades dispuestas en la Tabla 2, se adjunta la tabla con dicho error corregido.

<b>Especie</b>	<b>PESO FRESCO</b> g PF semana <sup>-1</sup>	<b>TASA CRECIMIENTO</b> % d <sup>-1</sup> media ± SD	<b>PRODUCCION</b> g PS semana <sup>-1</sup> media ± SD
<i>Grateloupia dichotoma</i>	28,6	0,9 ± 0,6	4,9 ± 2,8
<i>Hypnea spinella</i>	84,5	6,5 ± 0,8	20,3 ± 16,8