

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS



MARICULTIVO DE *Eisenia arborea* Y *Macrocystis pyrifera* EN BAHÍA
SANTA MARÍA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO: VALIDACIÓN DE
SITIO.

T E S I S

QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA
OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFIA COSTERA

PRESENTA

ZARKO ALTAMIRANO GÓMEZ

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MEXICO.

JUNIO DEL 2017.

RESUMEN

Con la intención de desarrollar el maricultivo de *Eisenia arborea* (*E. arborea*) y *Macrocystis pyrifera* (*M. pyrifera*), se realizó un estudio para validar a la Bahía Santa María, B. C., como un sitio apto para el cultivo de algas pardas. Se llevaron a cabo cuatro siembras, de septiembre del 2015 a junio del 2016, una por cada estación del año. Las plántulas se produjeron en laboratorio a partir de esporas colectadas de mantos silvestres, inoculando en cuerdas de 1-2 mm de grosor y a una densidad de 1'000 esporas por ml. Cuando las plántulas alcanzaron tallas de 1-3 cm, fueron trasplantadas al mar. Se instalaron a diferentes intervalos de profundidad (2-4, 7-9 y 12-14 m). Las plántulas sembradas de febrero a junio lograron sobrevivir. Las mayores tallas de *E. arborea*, se observaron en julio del 2016, alcanzando longitudes de hasta 80 cm y talla promedio de 52 ± 14 cm, *M. pyrifera* presentó las mayores tallas en noviembre del 2016, alcanzando tallas de hasta 4 m. Transcurridos nueve meses de cultivo las algas de *E. arborea* alcanzaron un grado de desarrollo D de acuerdo al criterio de Arnold, una biomasa entre $0.2-3.5 \text{ kg m}^{-1}$ de cultivo. Algas de *M. pyrifera* al cabo de 8 meses de cultivo, presentaron una biomasa de 7.11 kg m^{-1} . La mejor profundidad de cultivo para el periodo de estudio fue de 3-9 m para *E. arborea* y 7-9 m para *M. pyrifera*. Derivado de los resultados de los cultivos se concluye que Bahía Santa María, B. C. es un sitio apto para el cultivo de algas pardas. Sin embargo se recomiendan estudios a escala piloto comercial por un periodo de dos a tres años.

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS
POSGRADO EN OCEANOGRAFIA COSTERA

MARICULTIVO DE *Eisenia arborea* y *Macrocystis pyrifera* EN BAHÍA
SANTA MARÍA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO: VALIDACIÓN DE SITIO.

T E S I S

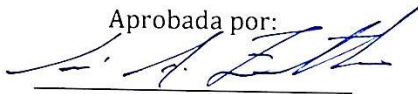
QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA OBTENER
EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA

ZARKO ALTAMIRANO GÓMEZ

Aprobada por:




Dr. JOSÉ ANTONIO ZERTUCHE GÓNZALEZ

Director de tesis



Dr. JOSÉ MIGUEL SANDOVAL GIL



Dra. LYDIA B. LADAH

En memoria de:

Dr. José Rafael Blanco Betancourt †

No solo fuiste profesor, sino maestro, amigo y el tata postizo de Ato...Se te extraña...

DEDICATORIA

Yuritzi

Por tu apoyo y esfuerzo, sin el cual no hubiese alcanzado esta meta. Además, por darme la oportunidad de ser padre...

Atonatiuh

Por ser fuente de inspiración y tenerme paciencia en el aprendizaje de ser padre...

Para ambos padres, agradezco su apoyo y confianza, los amo infinitamente...

Capi

Sigues siendo mi héroe y ejemplo, agradezco me enseñaras y apasionaras por el mar, herencia familiar, que espero de la misma manera transmitir a los míos...

Madre

Con ejemplo me has demostrado que solo con dedicación y esfuerzo se alcanzan las metas, te admiro y respeto...

Hermanos

Por aceptarme dentro del rebaño, ser cómplices en mis travesuras y darme mis merecidos regaños, que me hicieron cuestionarme en repetidas ocasiones, así como por el cariño que siempre me han demostrado...

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma del Estado de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas e Instituto de Investigaciones Oceanológicas, por otorgarme el grado de Maestro en Ciencias en Oceanografía Costera.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por otorgarme una beca, para estudiar y concluir el programa de Maestría en Oceanografía Costera, sin la cual no lo hubiera conseguido.

Al Dr. José Antonio Zertuche González por su dirección, paciencia, confianza y apoyo durante el desarrollo y realización de la tesis.

A la Dra. Lydia B. Ladah, por sus comentarios, apoyo y postura propositiva en los avances y en la conclusión de la tesis.

Al Dr. José Miguel Sandoval Gil, por sus recomendaciones y aportaciones, así como a su buena disposición en la elaboración de la tesis.

Al Pepazo, por su amistad y apoyo en campo, buceo, así como en el laboratorio.

A todo el equipo de Macroalgas del IIO-UABC por su apoyo en laboratorio; José Manuel Guzmán Calderón, Mariana Sánchez Barredo, Estefanía Cervantes, Estefanía Revilla, Fernando Castillo Saravia, Andrea y Mar.

A quienes me apoyaron en campo; Gonzalo Gómez, Marco Antonio y Juan Paniagua Alejandre, Adrián Montes, Andrés Martínez, Atonatiuh Altamirano Medellín, Yuritzi Medellín Ramírez, Alexis, e Hiram Noguero.

A los buzos; José Manuel "Pepazo" Guzmán Calderón, Marco Antonio "Gordo" Paniagua Alejandre, Ernesto Carsoleo, José Manuel "Tío" Sandoval Gil.

A la empresa Ostrícola Nautilus, por permitir el uso de sus instalaciones, así como el apoyo proporcionado por sus directivos y personal en el trabajo de campo.

A la empresa Cultivos Marinos Integrados, por facilitar su concesión acuícola para instalar las artes de cultivo, así como el uso de sus embarcaciones y equipo.

A la empresa Productos Marinos de las Californias, por apoyarme con parte de los materiales para la elaboración de las artes de cultivo, recursos para su instalación y muestreos al campo, así como por apoyarme en la conclusión de la maestría.

INDICE

	Página
RESUMEN.....	II
VOTOS APROBATORIOS.....	III
EN MEMORIA.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTOS.....	VI
ÍNDICE.....	VII
LISTA DE TABLAS.....	X
LISTA DE FIGURAS.....	X
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. HIPÓTESIS.....	10
3. OBJETIVOS.....	10
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	10
3.2. OBJETIVOS PARTICULARES.....	11
4. JUSTIFICACIÓN.....	11
5. MÉTODOLOGIA.....	12
5.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	12
5.2. FACTORES ABIÓTICOS.....	13
5.2.1. TEMPERATURA.....	13
5.2.2. INDICE DE SURGENCIA.....	13
5.2.3. NUTRIENTES.....	14
5.2.4. IRRADIANCIA.....	14
5.3. GENERACIÓN DE PLÁNTULAS EN LABORATORIO.....	15
5.3.1. COLECTA DE TEJIDO REPRODUCTIVO.....	15
5.3.2. ESPORULACIÓN DEL TEJIDO REPRODUCTIVO.....	16
5.3.3. SIEMBRA DE ESPORAS.....	17
5.4. CULTIVO DE PLÁNTULAS EN EL MAR.....	19

5.4.1. ARTES DE CULTIVO.....	19
5.4.2. CULTIVO DE PLÁNTULAS EN LOS SISTEMAS LONG-LINE.....	21
5.5. MUESTREOS.....	23
5.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	27
6. RESULTADOS.....	28
6.1. FACTORES ABIÓTICOS.....	28
6.1.1. TEMPERATURA.....	28
6.1.2. ÍNDICE DE SURGENCIAS.....	29
6.1.3. NUTRIENTES.....	30
6.1.4. IRRADIANCIA.....	31
6.2. CULTIVOS DE OTOÑO.....	32
6.2.1. <i>Macrocystis piryfera</i>	32
6.2.2. <i>Eisenia arborea</i>	32
6.3. CULTIVO DE INVIERNO (<i>Eisenia arborea</i>).....	34
6.3.1. TALLA.....	34
6.3.2. PESO.....	36
6.3.3. DESARROLLO.....	37
6.3.4. EPIBIONTES.....	38
6.3.5. BIOMASA.....	39
6.3.6. DENSIDAD.....	40
6.4. CULTIVOS DE PRIMAVERA.....	41
6.4.1. <i>Macrocystis piryfera</i>	41
6.4.2. <i>Eisenia arborea</i>	42
6.4.2.1. TALLA.....	42
6.4.2.2. PESO.....	43
6.4.2.3. DESARROLLO.....	44
6.4.2.4. EPIBIONTES.....	44
6.4.2.5. BIOMASA Y DENSIDAD.....	45

6.5. CULTIVO DE VERANO (<i>Eisenia arborea</i>).....	46
6.5.1. TALLA.....	46
6.5.2. PESO.....	48
6.5.3. DESARROLLO.....	48
6.5.4. EPIBIONTES.....	49
6.5.5. BIOMASA Y DENSIDAD.....	50
7. DISCUSIONES.....	51
8. CONCLUSIONES.....	56
9. LITERATURA CITADA.....	59
9.1. PÁGINAS DE INTERNET.....	63
10. ANEXOS.....	64
10.1. FAUNA ASOCIADA A LOS CULTIVOS.....	64
10.2. SERIE DE TIEMPO DE LA TEMPERATURA.....	65

LISTA DE TABLAS	Página
Tabla I.- Relación de esporulaciones que resultaron en cultivos en el mar.....	16
Tabla II.- Condiciones iniciales del maricultivo de <i>M. pyrifera</i> y <i>E. arborea</i>	21
Tabla III.- Calendario de muestreos <i>in situ</i>	24
Tabla IV.- Calendario de muestreos destructivos.....	25

LISTA DE FIGURAS	Página
Figura 1.- Esquema de la historia de vida de <i>Macrocystis pyrifera</i>	4
Figura 2.- Sitio de estudio.....	13
Figura 3.- Sitios de colecta de tejido reproductivo.....	15
Figura 4.- Carrete (a) y materiales para cultivo <i>in vitro</i> (b).....	18
Figura 5.- Artes de cultivo horizontal; diseño y dimensiones (a), unidad de cultivo (b).....	20
Figura 6.- Diseño de línea madre y líneas de apoyo para el cultivo vertical.....	21
Figura 7.- Esporofitos de <i>E. arborea</i> (a) y <i>M. pyrifera</i> (b) producidas en laboratorio.....	22
Figura 8.- Esquema del sistema de cultivo horizontal de algas pardas.....	23
Figura 9.- Esquema del sistema de cultivo vertical de algas pardas.....	23
Figura 10.- Desarrollo de <i>E. arborea</i> según Arnold (1980).....	26
Figura 11.- Promedio diario de temperatura del sitio, durante el período de estudio.....	29
Figura 12.- Índice de surgencias estimado frente a San Quintín, B. C.....	29
Figura 13.- Relación de la temperatura y concentración de nutrientes de Bahía Santa María.....	30
Figura 14.- Promedios de la irradiancia por estación del año de Cabo San Quintín.....	32
Figura 15.- Tallas promedio de esporofitas de <i>M. pyrifera</i> y <i>E. arborea</i> cultivadas en otoño del 2015...33	33
Figura 16.- Algas de <i>M. pyrifera</i> enredadas en cuerda de cultivo contigua.....	34
Figura 17.- Promedio y logaritmo natural de las tallas de esporofitas de <i>E. arborea</i> cultivadas a tres intervalos de profundidad, en el período de febrero a noviembre del 2016.....	35

Figura 18.- Tallas promedio de verano y otoño del 2016 de esporofitas de <i>E. arborea</i> cultivadas a tres intervalos de profundidad, a partir de febrero del 2016.....	36
Figura 19.- Promedios de los pesos de verano y otoño del 2016 de esporofitas de <i>E. arborea</i> cultivada a tres intervalos de profundidad, a partir de febrero del 2016.....	37
Figura 20.- Porcentaje del grado de desarrollo de esporofitas de <i>E. arborea</i> , instaladas a tres diferentes intervalos de profundidad, a partir de febrero del 2016.....	38
Figura 21.- Evolución del cultivo de <i>E. arborea</i> de invierno del 2016.....	38
Figura 22.- Porcentaje de epibiontes con respecto al peso de las algas de julio y noviembre del 2016 de esporofitas de <i>E. arborea</i> , cultivadas a tres intervalos de profundidad, a partir de febrero del 2016.....	39
Figura 23.- Biomasa por metro de cultivo de julio y noviembre del 2016 de esporofitas de <i>E. arborea</i> , cultivadas a tres intervalos de profundidad a partir de febrero del 2016.....	40
Figura 24.- Promedios de la densidad de algas por metro de cultivo de julio y noviembre del 2016 de esporofitas de <i>E. arborea</i> , cultivadas a tres intervalos de profundidad a partir de febrero del 2016.....	41
Figura 25.- Esporofitas de <i>M. pyriferá</i> , cultivada de 7-9 m de profundidad, a partir de marzo del 2016.....	42
Figura 26.- Promedios de las tallas de esporofitas de <i>E. arborea</i> cultivadas a tres intervalos de profundidad, en el período de primavera a otoño del 2016.....	43
Figura 27.- Promedios de las tallas y pesos de verano y otoño del 2016 de esporofitas de <i>E. arborea</i> cultivadas a tres intervalos de profundidad, a partir de marzo del 2016.....	43
Figura 28.- Porcentaje del grado de desarrollo de esporofitas de <i>E. arborea</i> , cultivadas de marzo a noviembre del 2016.....	44
Figura 29.- Porcentaje de epibiontes con respecto al peso de las algas de julio y noviembre del 2016 de esporofitas de <i>E. arborea</i> , cultivadas a tres intervalos de profundidad, a partir de marzo del 2016.....	45
Figura 30.- Promedios de la densidad de algas por metro de cultivo de julio y noviembre del 2016 de esporofitas de <i>E. arborea</i> , cultivadas a tres intervalos de profundidad, a partir de marzo del 2016.....	46
Figura 31.- Promedios y logaritmo natural de las tallas de esporofitas de <i>E. arborea</i> cultivadas a tres intervalos de profundidad, en el período de verano a otoño del 2016.....	47
Figura 32.- Promedios de las tallas de otoño del 2016 de esporofitas de <i>E. arborea</i> cultivadas a tres intervalos de profundidad, a partir de junio del 2016.....	47

Figura 33.- Promedios de los pesos de otoño del 2016 de esporofitas de <i>E. arborea</i> cultivadas a tres intervalos de profundidad, a partir de junio del 2016.....	48
Figura 34.- Porcentaje del grado de desarrollo de esporofitas de <i>E. arborea</i> , cultivadas de junio a noviembre del 2016.....	49
Figura 35.- Porcentaje de epibiontes con respecto al peso de las algas en noviembre del 2016 de esporofitas de <i>E. arborea</i> , cultivadas a tres intervalos de profundidad, a partir de junio del 2016.....	49
Figura 36.- Cangrejos sargaceros del sur (<i>Taliepus nuttallii</i>); macho (A) y hembra (B), ambos colectados en cultivos.....	64
Figura 37.- Algas observadas en el monitoreo de marzo del 2016, aparentemente pastoreadas.....	64
Figura 38.- Serie de tiempo de la temperatura en Bahía Santa María, B. C., México.....	65

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de algas pardas es una actividad acuícola de gran importancia económica y que ha tenido su principal foco de desarrollo (95% de la producción mundial) en países asiáticos como China, Indonesia Corea del Sur o Japón (Capuzzo y Mckie, 2016). La principal causa del auge de esta actividad es que muchas especies de algas pardas (p.e. *Laminaria japonica*, *Undaria pinnatifida*, *Macrocystis pyrifera*) ofrecen distintos usos y beneficios; por ejemplo, sus tejido ricos en nutrientes pueden ser utilizados para el consumo humano o empleados como fertilizantes y como forraje para la industria ganadera (North, 1983; Zertuche-González, 2013; Zertuche-González, 2014a); también de dichos tejidos se obtienen compuestos polisacáridicos coloidales (ficocoloides) de extensa aplicación en la industrias como la farmacológica o la alimentaria, como son los alginatos o las fucoidinas (Zemke-White y Ohno, 1999; Mazarrasa *et al.*, 2014).

En contraste con el mercado asiático, la acuicultura de las algas pardas en países de Europa, Estados Unidos y América Latina se ubica en sus inicios, y ésta dependerá de librar retos tecnológicos, biológicos y políticos (Rebours *et al.*, 2014). Recientemente se han llevado a cabo estudios experimentales para el desarrollo comercial de especies como *M. pyrifera* y *Lessonia trabeculata* en Chile (Westermeier *et al.*, 2006; Buschmann *et al.*, 2008; Camus y Buschmann 2017), *Laminaria sp* y *Saccharina latissima* en Estados Unidos, así como *S. latissima* y *Alaria esculenta* en Canadá (Redmond *et al.*, 2014). Las investigaciones realizadas en Chile y Estados Unidos enfocadas al maricultivo comercial de *M. pyrifera*, demostraron que esta actividad se

pueda llevar a cabo mediante el cultivo de plántulas en laboratorio, a partir de la esporulación forzada de tejidos reproductores (esporofilos) colectados del medio natural (Stekoll y Else, 1990; Gutiérrez *et al.*, 2006; Westermeier *et al.*, 2006; Macchiavello *et al.*, 2010; Celis-Plá y Alveal, 2012; Correa *et al.*, 2014). Dichos estudios han reportado que las productividades de los tejidos vegetativos están sujetas a una elevada variabilidad, posiblemente relacionada con factores inherentes al sistema de cultivo (p.e. condiciones ambientales, método de cultivo), factores biológicos (p.e. presencia de epibiontes, herbívoros), así como factores genéticos/ecotípicos (Stekoll y Else, 1990; Correa *et al.*, 2014; Camus y Buschmann, 2016).

La actividad acuícola de macroalgas pardas en México, y específicamente en la Península de Baja California, ofrece una enorme oportunidad comercial escasamente explotada en el pasado. En Baja California, *M. pyrifera* es la única alga parda que se ha aprovechado de manera comercial, a partir de la recolección de mantos naturales desde los años 60 (Guzmán del Prío, 1993; Casas-Valdés *et al.*, 2011). *Macrocystis pyrifera* se cosechó como materia prima para extracción de alginatos en el período comprendido entre 1958 y 2004, con un promedio de 26,000 toneladas por año (Guzmán del Prío, 1993; Casas-Valdés *et al.*, 2011). En 2004, el comercio de productos de *M. pyrifera* sufrió un retroceso, como resultado de eventos del fenómeno del Niño (Guzmán del Prío, 1971; Hernández-Carmona 1988 y 1991; Ladah *et al.*, 1999). Actualmente, la demanda de algas pardas en México se ha incrementado debido al desarrollo de nuevos productos y usos (Gutierrez *et al.*, 2006; Correa *et al.*, 2014; Vázquez *et al.*, 2014; Zertuche-González, 2013; Camus y Buschmann, 2017). Un claro ejemplo de ello se puede observar a nivel local, donde *M. pyrifera* y *E. arborea* se

utilizan de forma fresca como alimento para especies de notable interés en acuicultura (abulón, peces, camarón), o secas como materia prima en la elaboración de biofertilizantes y promotores del crecimiento en la agricultura (Callejas-Jiménez, 2007; Zertuche-González, 2013; Zertuche-González *et al.*, 2014a).

Eisenia arborea Areschoug¹ y *Macrocystis pyrifera* (Linnaeus) C. Agardh, denominadas comúnmente como “sargazos”, son macroalgas pertenecientes a la clase *Phaeophycidae*, orden *Laminariales*, y que en el Pacífico Nororiental presentan una distribución latitudinal que comprende las costas desde el sur de Alaska hasta Bahía Magdalena, en Baja California Sur, México (Saunders, 1901; Abbott y Hollenberg, 1976). Las algas pardas del orden laminariales presentan una historia de vida bifásica, una macroscópica y una fase microscópica, donde al alga se les nombra como esporofito (diploide o 2n) y gametofito (haploide o 1n), respectivamente. La fase diploide contiene las esporas en láminas basales denominadas esporofilos, las esporas al fecundarse producen gametofitos femeninos y masculinos, que a su vez producen oogonios y anterozoides, que al combinarse forman un cigoto y a partir del cual se desarrolla el esporofito (Figura 1).

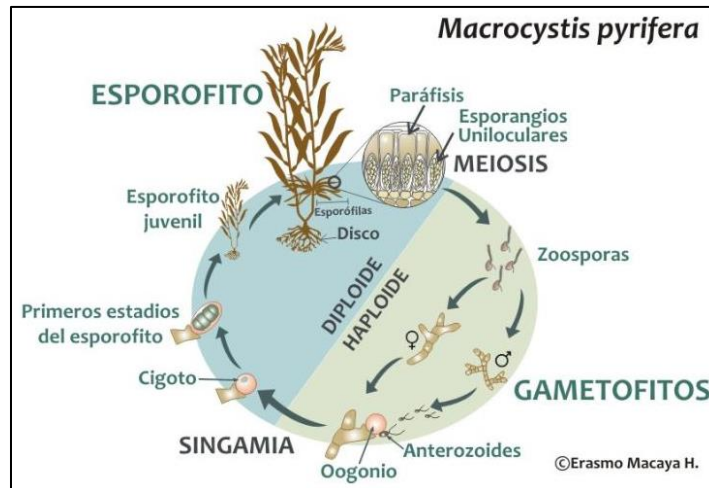


Figura 1.- Esquema de la historia de vida de *Macrocyctis pyrifera* (tomado de http://www.algalab.com/gal_ciclo/index.html).

El crecimiento, y por tanto la distribución, de las algas pardas depende de características físicas y químicas del medio (Kerrison *et al.*, 2015), y de las capacidades de adaptación/aclimatación de cada especie (o de ecotipos/genotipos dentro de ellas) a dichas condiciones (North, 1983). Foster y Schiel (1985) mencionan que los bosques de sargazos gigantes (i.e. *Macrocyctis sp*) requieren generalmente de sustratos duros a los cuales adherirse, temperaturas por debajo de los 20°C, irradiancias mayores o equivalente al 1% de la luz incidente en la superficie, una adecuada concentración de nutrientes, salinidades de entre 35 a 36 ‰, así como protección de flujos extremos de agua que pudiesen dañar la fijación de las macroalgas al sustrato. Más específicamente, y respecto de los requerimiento de irradiancia, distintos autores han reportado que éstos pueden aumentar desde fases ontogénicas más tempranas, hasta fases maduras; por ejemplo, Dean y Jacobsen (1984) encontraron que las irradiancias de compensación (I_c) y saturación (I_k) para esporofitos muy jóvenes de *M. pyrifera* (aproximadamente 1 cm longitud) fueron de 1

y 17.4 μmol fotones (Einsteinios) $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente. Los valores de I_c e I_k reflejan los valores de irradiancia necesarios para que las tasas fotosintéticas compensen las de respiración, y los niveles de irradiancia a los que la fotosíntesis es máxima, respectivamente. Dean y Jacobsen (1986) también observaron que las irradiancias de compensación en esporofitos juveniles (0.2 a 1 m de longitud) correspondían a valores de entre 5 y 8 μmol fotones $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, mientras que los niveles de saturación comprendieron niveles de entre 23 y 35 μmol fotones $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A su vez, Clendenning (1971) encontró que los valores de I_c e I_k para el caso de esporofitos adultos de *M. pyrifera* (más de 1 m de longitud) es de 1.1 y 115.7 μmol fotones $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente. En conjunto, estos estudios sugieren que *M. pyrifera* exhibe notables capacidades de fotoaclimatación, lo que explica que esta especie pueda ocupar un rango amplio batimétrico, que cubre profundidades de entre 5-25m (Foster y Schield, 1985; Dayton *et al.*, 1999), y que se presenten algunos casos extremos en los que se han encontrado mantos hasta los 68m de profundidad (Perissinotto y McQuaid, 1992). Por otra parte, y respecto de los requerimientos de nutrientes, parece que son necesarias concentraciones de nitrógeno total por encima de 1 μM para mantener el crecimiento y sobrevivencia de la macroalga (Gerard, 1982). El que una planta esté (o no) limitada por nutrientes dependerá de distintos factores que afecten su disponibilidad e incorporación por la planta; por ejemplo influencia de surgencias oceánicas, temperatura del agua, velocidad de la corriente, capacidades fotosintéticas de la planta, estrategias cinéticas de incorporación (Zimmerman y Kremer, 1984; Foster y Schiel, 1985; Gerard, 1982; Zimmerman y Kremer, 1986; Hurd *et al.*, 1996; Dayton *et al.*, 1999; Ladah, 2003; Ladah y Zertuche-Gonzalez, 2004).

Por su parte *E. arborea* parece ser una especie de mayor plasticidad fisiológica que *M. pyrifera*, ya que se localiza comúnmente desde la zona intermareal hasta 40 m, puede soportar temperaturas por encima de los 20°C, así como concentraciones menores de 1 µM de nitrato (Dayton *et al.*, 1999; Hernández-Carmona *et al.*, 2000, 2001; Matson y Edwards, 2007). Sánchez-Barredo *et al.* (2011) concluyeron que la fisiología del nitrógeno de *E. arborea* está adaptada para que la macroalga sobreviva de 3 a 5 semanas en condiciones oligotróficas naturales de nutrientes, de forma similar a lo que ocurre en ciertos casos con *M. pyrifera* que sobrevive de 2 a 3 semanas (Gerard, 1982).

En México, la biomasa de *M. pyrifera* explotable a lo largo de la península de Baja California es abundante (Guzmán del Prío, 1971; Hernández-Carmona 1988 y 1991; Casas-Valdez *et al.*, 2003 y 2011); sin embargo, tras eventos anómalos como El Niño, esta especie ha reducido paulatinamente su distribución sur unos 430 km, hasta Punta San Roque (Baja California Sur), aparentemente como consecuencia de la combinación de altas temperaturas y bajas concentraciones de nutrientes (Guzmán del Prío, 1971; Hernández-Carmona 1988 y 1991; Ladah *et al.*, 1999). Se ha reportado que las poblaciones naturales se ven gravemente afectadas al desaparecer la fase macroscópica hasta por siete meses (Ladah *et al.*, 1999), y que pueden tardar períodos de entre dos hasta cinco años para su recuperación (Hernández-Carmona *et al.*, 2000; Edwards y Estes, 2006). En otras regiones, además de estos fenómenos naturales, que causan daños significativos a los mantos de sargazos (Dayton y Tegner, 1984; Zimmerman y Roberson, 1985; Tegner y Dayton, 1987; Dayton *et al.*, 1999), efectos antropogénicos como la sobre-explotación comercial de los mantos, ha instado a la

implementación de planes de manejo que regulen la extracción de algas en California (Foster y schiel, 1985), así como en Noruega, Portugal, Canadá, México y Chile (Vásquez, 2014; Rebours *et al.*, 2014). La situación de *M. pyrifera* contrasta de manera notable con la de *E. arborea*, cuya distribución no se ha visto aparentemente afectada, posiblemente debido a su mayor capacidad para adaptarse/aclimatarse a cambios en factores ambientales naturales o inducidos por el hombre (Dayton *et al.*, 1999; Matson y Edwards, 2007).

Es un hecho que el aprovechamiento de mantos naturales de macroalgas presenta importantes limitaciones. Por ejemplo, y como se ha comentado, la biomasa de los mantos se puede reducir drásticamente debido a cambios bruscos estacionales en las condiciones ambientales (Dayton *et al.*, 1999; Pacheco-Ruíz *et al.*, 2002). Por tanto, el grupo de Botánica Marina del Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO) de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), lleva años apostando por el desarrollo de métodos alternativos al aprovechamiento de mantos naturales, basados en condiciones experimentales más controladas; dichas actividades son las que se desarrollan hoy día por medio de una infraestructura ya desarrollada en la universidad, y principalmente son, i) el desarrollo de cultivos en pozas en tierra (para el caso de *Ulva* spp. y *Chondracanthus squarulosus*), y ii) el cultivo de algas rojas y pardas en estructuras situadas *ad hoc* en mar abierto (p.e. en el Estero de Punta Banda o en la Bahía de San Quintín, Baja California), siguiendo técnicas de cultivo comercial practicadas en Chile (Zertuche-González y García-Esquivel 1994; Zertuche-González *et al.*, 2014a). Para el caso del cultivo de macroalgas en mar abierto, la selección del sitio no es un tema trivial, ya que las condiciones ambientales predominantes (p.e.

nutrientes, sustrato, turbidez, corrientes) afectarán inevitablemente al crecimiento del alga, y así como a la producción y al desarrollo del maricultivo (Kerrison *et al.*, 2015). Para la “validación” de un espacio como apto para el cultivo de macroalgas pardas, son necesarios estudios que aporten información acerca del comportamiento vegetativo de las especies frente a condiciones ambientales, así como un monitoreo estacional del mismo (Merrill y Gillingam, 1990; Edwards y Watson, 2011; Flavin *et al.*, 2013; Correa *et al.*, 2016).

En trabajos previos el grupo de investigación visitaba de forma habitual los mantos naturales de *M. pyrifera* ubicados en Cabo San Quintín, con el fin de recolecta tejidos reproductores; durante esas visitas, se pudo observar que los mantos exhibían una dinámica poblacional notable en los extremos someros y profundos, mientras que las plantas que crecían en la zona intermedia de la vertical (7m) eran más estables; mientras que a profundidades de 7 a 10 m y mayores a 13 m, el sitio presenta una limitación por falta de sustrato rocoso ya que solo cuenta con un arrecife rocoso de 10 a 13 m de profundidad, es por eso que el presente trabajo se probaran tres diferentes intervalos de profundidad. En zonas más someras el condicionante principal podrían ser la elevada energía del oleaje o las mayores temperaturas que se presentan en otoño, aunque desafortunadamente no se cuenta con evidencia experimental de ello. Dentro de Bahía de San Quintín, el grupo de Botánica Marina (IIO-UABC) también pudo evaluar distintos aspectos del cultivo de *E. arborea* mediante el método de long-line (ver Métodos); entre ellos, la influencia de la periodicidad en la cosecha de material vegetativo en la productividad de la planta, así como la relación entre dicha productividad y la variación de factores ambientales, que aportaron un conocimiento

básico y valioso acerca del comportamiento de esta especie en condiciones de maricultivo. Otro antecedente que empujó al desarrollo del presente trabajo, fue el cultivo exitoso de *M. pyrifera* a distintas profundidades (4, 8 y 12 m) en Bahía Santa María, a partir de esporófitos juveniles colocados en dispositivos flotantes, diseñados por Craig Barilotti (comunicación personal, 2012) entre diciembre 2012 y marzo 2013. Con dichos artes de cultivo, se obtuvieron esporofitos de hasta 14 m de longitud y una notable productividad de hasta 42 kg de peso fresco por centro de crecimiento (Zertuche-González *et al.*, 2014a). Por tanto, a partir de dichas experiencias previas, y por medio de este trabajo, se pretende obtener información experimental empírica que sustente que Bahía Santa María es un lugar idóneo para el desarrollo de actividades de maricultivo de algas pardas.

¹ Nota: a partir de técnicas moleculares, Rothman *et al.* (2015) han propuesto cambiar el género de *Eisenia* por *Ecklonia*; así, la especie pasaría a nombrarse como *Ecklonia arborea* (Areschoug) M.D.Rothman, Mattio y J.J.Bolton.

2. HIPÓTESIS

Teniendo en cuenta experiencias piloto previas en la zona y desarrolladas por el grupo de Botánica Marina del IIO-UABC, la hipótesis general del presente estudio es que la Bahía de Santa María, B. C., puede resultar un sitio válido para el maricultivo de las algas pardas *E. arborea* y *M. pyrifera*. Dicha hipótesis general se compuso, a su vez, de dos específicas: 1) que en el sitio de estudio, la profundidad a la que se establezcan los maricultivos puede ser un factor clave para la optimización del desarrollo de las macroalgas, y 2) que las variaciones estacionales de condiciones ambientales críticas (p.e. luz, temperatura) pueden jugar un papel protagonista en el planteamiento del protocolo del maricultivo (p.e. temporada de siembra de plántulas, desarrollo de gametófitos en laboratorio).

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Implementar un sistema de maricultivo de algas pardas pionero en Baja California, que permita la independencia de la cosecha de mantos naturales; los protocolos que se implementarán incluirán desde el control del ciclo de vida completo de algas pardas en laboratorio, hasta la validación de la Bahía de Santa María, para el establecimiento del maricultivo de las especies *E. arborea* y *M. pyrifera*.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1) realizar siembras de plántulas de las especies de algas pardas objeto de estudio, a diferentes condiciones de profundidad, para determinar la profundidad optima de cultivo para Bahía Santa María.

2) llevar a cabo siembras de esporofitos a diferentes condiciones estacionales, así como registrar el comportamiento en el tiempo de descriptores vegetativos del desarrollo de las macroalgas en cultivo para establecer un calendario de cultivo.

3) recopilar y tomar datos de factores abióticos, para determinar cuales presentan una mayor influencia sobre el cultivo de las macroalgas en el sitio de estudio, así como establecer valores críticos.

4. JUSTIFICACIÓN

El presente estudio responde a distintas necesidades: en primer lugar, se requieren estudios que permitan el control del cultivo de algas de interés comercial, que permitan cierta independencia de procesos de recolección tradicional de mantos naturales de macroalgas, sujetos a distintas condiciones (p.e. variabilidad en biomasa y composición nutricional de tejidos). Hasta la fecha, estos estudios serían pioneros en México, y sus resultados tendrían un impacto inmediato en sectores gubernamentales como la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, ya que desde el Plan de Manejo para la Pesquería de Macroalgas en Baja California se insta a este tipo de iniciativas. Por otra parte, también respondería a los crecientes intereses de productores acuícolas y comunidad científica en diversificar la actividad

acuícola de la Bahía de San Quintín, donde la producción se centra principalmente en el monocultivo del ostión japonés (*Crassostrea gigas*) sujeto cada vez más a mortandades más intensas y recurrentes. Además, esta investigación viene a complementar distintos estudios enfocados en acuicultura multitrófica integrada que desarrolla en la actualidad el Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la Universidad Autónoma de Baja California, ya que ambas especies de macroalgas (*M. pyrifera* como *E. arbórea*) son empleadas como alimento del abulón rojo (*Haliotis rufescens*), especie acuícola también de enorme interés económico.

5. METODOLOGÍA

5.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El sitio de estudio se localiza dentro de Bahía Santa María al sur de Bahía San Quintín, en el estado de Baja California, México, coordenadas 30.36° N, 115.93° O (Figura 2). El sitio presenta una profundidad de 16 m (Nivel Baja Media Inferior), donde el sustrato está compuesto de arenas finas a gruesas. Los mantos de sargazos más cercanos se localizan en Cabo San Quintín, a 6 km al oeste del sitio de estudio. La configuración y orientación de la bahía brinda protección del oleaje del noroeste (tormentas de invierno) y queda expuesta al oleaje del sur (tormentas de verano). El mar adyacente a la península de Baja California forma parte del sistema de la Corriente de California, donde por consecuencia del patrón de vientos, se presentan surgencias de primavera a verano (Hutchings *et al.*, 1995), que aportan agua fría rica en nutrientes (CO₂, nitratos; Camacho-Ibar *et al.*, 2007).

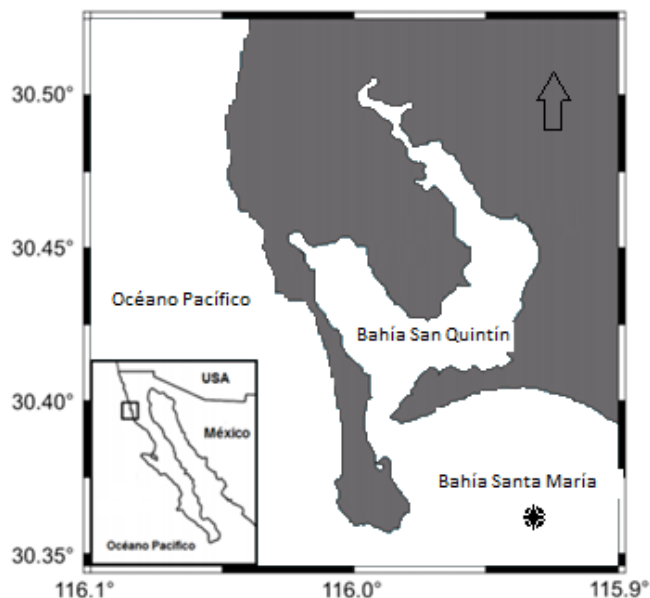


Figura 2.- Sitio de estudio.

5.2. FACTORES ABIÓTICOS

5.2.1. TEMPERATURA

El laboratorio de macroalgas del IIO-UABC mantiene un muestreo constante de la temperatura *in situ* desde octubre del 2012; los datos de temperatura se colectan mediante una red de termistores (HOBO Pro V2) instalados a distintas profundidades (desde 2 a 15m).

5.2.2. ÍNDICE DE SURGENCIAS

Se obtuvieron los promedios mensuales del índice de surgencias, así como las anomalías de las surgencias observadas frente a región de San Quintín, B. C. (30° N, 119° O), durante el período de estudio. Los datos fueron calculados por el Laboratorio Ambiental de las Pesquerías del Pacífico (PFEL, por sus siglas en inglés) de la Agencia

Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA por sus siglas en inglés).

5.2.3. NUTRIENTES

Se han realizado muestreos de nutrientes ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$) y temperatura en Bahía Santamaría, B. C. por investigadores del IIO-UABC de las áreas de geociencias ambientales y oceanografía física en diferentes campañas desde agosto 1995 a julio del 2014. Las muestras fueron tomadas utilizando una botella Niskin a 2 y 10 m de profundidad, filtrando *in situ* 200 ml mediante filtros de fibra de vidrio GF/F (Whatman) y congeladas con hielo seco para su posterior análisis en el laboratorio. La determinación de la concentración de nitratos + nitritos se realizó mediante métodos espectrofotométricos (analizador Skalar Sanplus).

5.2.4. IRRADIANCIA

La irradiancia se monitoreó con una periodicidad semanal, mediante el uso de un irradiómetro y sensor esférico sumergible (LICOR A-250 y LI-193). Dicho sensor se empleó para obtener perfiles hasta una profundidad de 7 m. A mayor profundidad, las irradiancias se calcularon según la ecuación de Lambert-Beer ($I_z = I_0 * e^{-Kd * z}$; donde I_z = intensidad de la luz a la profundidad z , I_0 = intensidad de la luz en la superficie, Kd = coeficiente de atenuación, z = profundidad) (Kirk, 1994)

5.3. GENERACIÓN DE PLÁNTULAS EN LABORATORIO

El protocolo de cultivo de *M. pyrifera* y *E. arborea* en laboratorio, incluyó distintos procesos que fueron desde la colecta de tejidos reproductivos en campo, hasta la germinación de plántulas (esporofitos) en laboratorio. Dichos protocolos se detallan a continuación.

5.3.1. COLECTA DE TEJIDO REPRODUCTIVO

El tejido reproductivo de *E. arborea* y *M. pyrifera* se recolectó mediante buceo autónomo en mantos ubicados en Campo Kennedy (31° 41.2' N, 116° 40.5' O) y Bahía San Quintín (30° 26.1' N, 115° 59.2' O) (Figura 3). Los esporofilos (tejido reproductivo) de *M. pyrifera* se colectaron de individuos esporofitos adultos con más de 8 frondas y una longitud mayor a los 2 metros (Neushul, 1963). El tejido reproductivo de *E. arborea* (localizado en las láminas) también se colectaron de distintos individuos adultos que presentaban la típica horqueta de bifurcación y estipes mayores a 30 cm de longitud (Hollenberg, 1939).

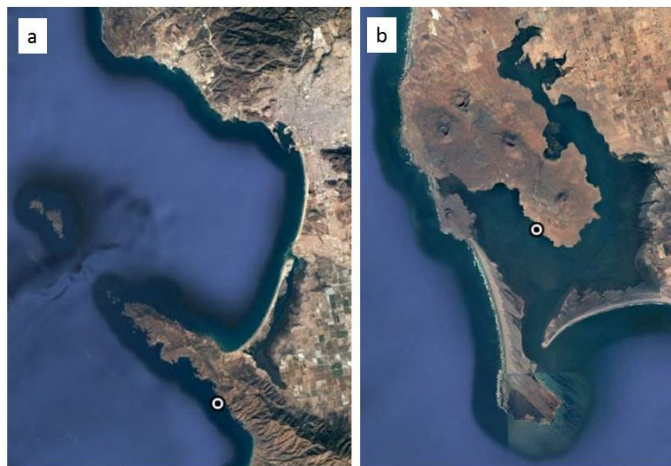


Figura 3.- Sitios de colecta de tejido reproductivo; Campo Kennedy (a) y Bahía San Quintín (b). Imagen de Google Earth (octubre de 2016).

Los esporofilos de ambas especies se limpiaron en campo con agua de mar filtrada hasta 1µm, y esterilizada por filtros UV. Se talló cuidadosamente la superficie de los soros con papel secante para remover los epibiontes presentes y se enjuagó con abundante agua de mar filtrada. El material reproductivo se envolvió en papel secante ligeramente humedecido dentro de bolsas plásticas y se transportó al laboratorio de macroalgas (IIO-UABC) dentro de una hielera. El tiempo transcurrido de la colecta al laboratorio fue menor a 6 h. En el laboratorio las bolsas plásticas con el material reproductivo se mantuvieron en un refrigerador a temperaturas entre 5-10°C.

5.3.2. ESPORULACIÓN DEL TEJIDO REPRODUCTIVO

Se realizaron 33 liberaciones de esporas (12 *M. pyrifer* y 20 *E. arborea*) para probar y ajustar criterios desde la colecta al cultivo *in vitro*, sin embargo no todas resultaron en cultivos en el mar (Tabla I), algunos problemas que se presentaron fue la ausencia e insuficiente cantidad de esporas, contaminación y mal manejo de los cultivos *in vitro*.

Tabla I.- Relación de esporulaciones que resultaron en cultivos en el mar.

Fecha esporulación	Cultivo horizontal	Fecha inicio maricultivo
9-jul-15	<i>M. pyrifer</i>	14-sep-15
17-jul-15	<i>E. arborea</i>	10-oct-15
10-nov-16	<i>E. arborea</i>	17-feb-16
29-dic-16	<i>E. arborea</i> <i>M. pyrifer</i>	29-mar-16
24-feb-16	<i>E. arborea</i>	30-jun-16

La liberación de esporas (esporulación) para ambas especies (*E. arborea* y *M. pyrifera*), se realizó en el laboratorio tras la exposición del tejido reproductivo a bajas temperaturas y desecación parcial. Una vez sometidos a dichos procesos, los tejidos (20-25 g) se colocaron en matraces Erlenmeyer con 800 ml de agua de mar filtrada. Durante la esporulación (1 a 4 horas), los matraces se introdujeron en una incubadora (VWR, modelo 2015) a 20°C y 280 $\mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$. La concentración de esporas por ml se fue cuantificando a intervalos de 1 hora, mediante el uso de una cámara Neubauer y un microscopio compuesto (Carls Zeiss, modelo Axio Lab A1). La esporulación se mantuvo hasta alcanzar una concentración de alrededor de 1000 esporas ml^{-1} , concentración mínima recomendada para cultivos de laminariales según Merrill y Gillingam (1991); una vez alcanzada dicha concentración, se procedió a la siembra de esporas a contenedores y dispositivos diseñados ad hoc para este proceso (ver siguiente sección).

5.3.3. SIEMBRA DE ESPORAS

Tras alcanzar una concentración óptima de esporas, se procedió a su siembra. Ésta consistió en añadir una solución concentrada de esporas ($\sim 35 \times 10^6$ esporas) a distintos contenedores (tarjas plásticas) con 35 L de agua de mar filtrada (1 μm y luz UV) y aireación. Los cultivos se mantuvieron a una temperatura de 16°C y una irradiancia de 40-50 $\mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (fotoperíodo de 16:8), usando lámparas fluorescentes de luz blanca (Sánchez-Medina, 2008). Como sustrato de fijación se dispuso una cuerda de siembra (Kuremona) enrollada en un carrete de PVC (25

carretes por contenedor colocados en porta-carretes; ver Figura 4); cabe destacar que para la selección de este tipo de cuerda, se realizaron distintas comparativas previas con otros tipos diferentes (p.e. Kremona, Kuralon, Manryo, Vinylon o Mevlon, así como cuerda de nailon de 2 mm, marca Lehigh modelo NST181RL). Previo a la inoculación de las esporas, se preparan los carretes y materiales para el cultivo *in vitro*. En este sentido, al menos 10 m de cuerda de siembra se encordaron en los carretes de PVC antes mencionados, y que consistieron en tubos de 3.8 cm de diámetro y 10 cm longitud (Figura 4a). El encordado se realizó anudando la cuerda de siembra en un extremo del carrete, encordando de izquierda a derecha, tensando levemente durante el encordado. Veinticuatro horas antes de la inoculación de esporas, se llevaron a cabo medidas para reducir al mínimo procesos de contaminación, como la pasteurizaron de los carretes con la cuerda de siembra (80°C, 30 s), y lavado de los materiales para el cultivo *in vitro* con agua, jabón líquido libre de fosfatos. La desinfección de los contenedores (tarjas), mangueras de aireación y porta-carretes, se realizó mediante una disolución de hipoclorito de sodio al 0.08%.

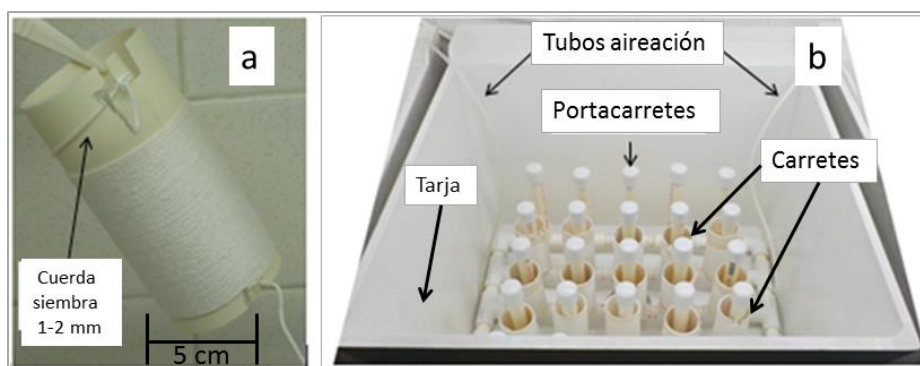


Figura 4.- Carrete (a) y materiales para cultivo *in vitro* (b).

Durante el desarrollo de gametófitos y posteriores esporófitos, los cultivos se fertilizaron por pulsos agregando fuentes de nitrato (NaNO_3 , 0.453 M) y fosfato (β -Glicerol fosfato disódico sal pentahidratado, 0.026 M) con una periodicidad semanal; también se adicionó dióxido de germanio (GeO_2 , 0.047 M) para evitar el desarrollo de diatomeas. Transcurridas 24 h tras el pulso de fertilización, se realizaban recambios con agua de mar filtrada para evitar la proliferación de algas oportunistas (Celis-Plá y Alveal, 2012). Cada tercer día después de la fertilización, se procedió a un mantenimiento de limpieza de los carretes y de los contenedores, los carretes se enjuagaban con agua filtrada y las tarjas mediante un rociado de hipoclorito de sodio al 0.08% (10 minutos) y enjuagues sucesivos con jabón líquido libre de fosfatos, agua potable y agua de mar filtrada. Cada 7 a 15 días se revisaba el estado de las plántulas en los cultivos; para ello se cortaban fragmentos de 1-2 cm de cuerda de siembra de los extremos de tres carretes por contenedor, y se observaban usando un microscopio invertido (Carl Zeiss, modelo Axio Observer A1, objetivo 20x).

5.4. CULTIVO DE PLÁNTULAS EN EL MAR

5.4.1. ARTES DE CULTIVO

El arte de cultivo empleado se basó en el sistema de línea madre o “long-line”, utilizado ampliamente en el maricultivo de algas y moluscos (principalmente mejillón). Además de las consideraciones recomendadas por Merrill y Gillingam (1991) para el diseño del arte de cultivo, se consideró que el arte de cultivo debía soportar tanto el oleaje de invierno (tormentas del norte) y verano (tormentas de sur), proporcionar un sustrato rígido a los cabos de cultivo, así como evitar el

vandalismo y robo de las instalaciones; así que las líneas madre se instalaron sumergidas, con tensores a cada 10 m. Los long-lines se fijaron al sustrato arenoso utilizando anclas elaboradas con tubos de acero. Además, se diseñaron dos tipos de sistemas; horizontal y vertical, en ambos casos la línea madre se puede ajustar de 2 a 15 m de profundidad.

Para el caso del sistema de cultivo horizontal, se instalaron seis líneas madre de 94 m de longitud, con 20 m efectivos de cultivo a una profundidad de 7 m (Figura 5a), las líneas se orientaron de norte a sur, paralelas a intervalos de 5 m de distancia (Figura 5b).

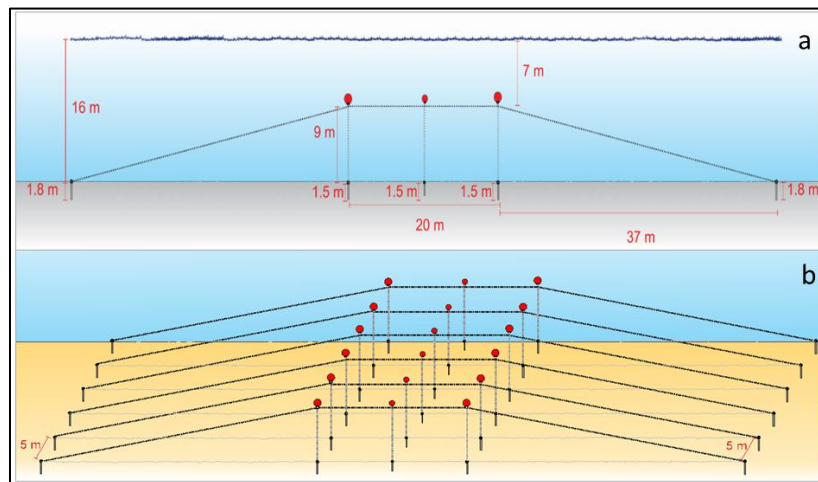


Figura 5.- Artes de cultivo horizontal; diseño y dimensiones (a), unidad de cultivo (b).

Con la instalación de los sistemas verticales de cultivo se persiguió determinar la profundidad óptima de cultivo; de esta manera se instalaron seis líneas madre de 84 m de longitud con 10 m efectivos para cultivo (Figura 6).

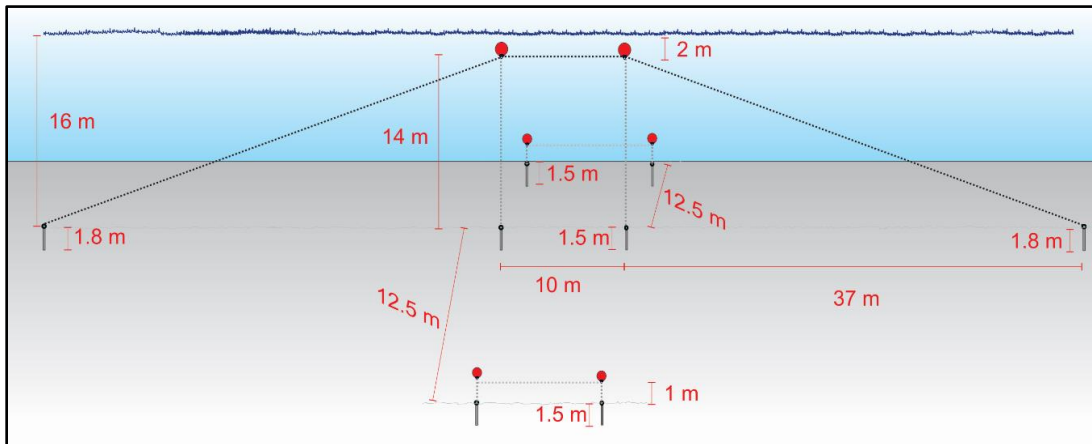


Figura 6.- Diseño de línea madre y líneas de apoyo para el cultivo vertical.

5.4.2. CULTIVO DE PLÁNTULAS EN LOS SISTEMAS DE LONG-LINE

Se cultivaron en el mar 342 m de cuerda de cultivo con plántulas, un total de 64 cabos de cultivo (Tabla II).

Tabla II.- Condiciones iniciales del maricultivo de *M. pyrifera* y *E. arborea*. Densidad; número de algas por metro de cultivo y talla en cm.

Fecha	Cultivo horizontal	Cultivo vertical	Especie	Densidad	Talla
14-sep-15	6	3	<i>M. pyrifera</i>	2 230	1.29
10-oct-15	6	3	<i>E. arborea</i>	2 400	1.17
17-feb-16	6	6	<i>E. arborea</i>	856	3.04
29-mar-16	9	2	<i>M. pyrifera</i>	39	1.47
	9	2	<i>E. arborea</i>	1 568	0.78
30-jun-16	6	6	<i>E. arborea</i>	11	2.78

Al cabo de dos a tres meses de cultivo en laboratorio, los esporofitos se trasladaron al mar, cuando alcanzaron tallas entre 2 a 50 mm (Stekoll y Else, 1990; Gutierrez *et al.*,

2006; Macchiavello *et al.*, 2010) (Figura 7). Antes de ser cultivados en el mar, se midieron y pesaron, 30 esporofitos por especie.



Figura 7.- Esporofitos de *E. arborea* (a) y *M. pyrifera* (b) producidas en laboratorio.

Las cuerdas de siembra con esporofitos juveniles, se encordaron sobre el cabo de cultivo (cabo de tres hebras de polipropileno de 6 mm), 12 h antes de ser instalados en el mar. Previamente al encordado de la cuerda de siembra sobre el cabo de cultivo, éste se expuso a procesos de desinfección con Hipoclorito de sodio al 0.08% por 10 min y enjuagues con agua de mar filtrada. Para el encordado de la cuerda de siembra sobre el cabo de cultivo, se siguió un método modificado de Merrill y Gillingam (1991), donde la cuerda se anuda a las hebras del cabo. Este proceso se realizó dentro del laboratorio a una temperatura de 19°C, en un período no mayor a 5 minutos por cabo de cultivo; para evitar la desecación de las algas se humectaron con agua de mar filtrada constantemente durante el proceso. Terminado el encordado, los cabos de cultivo se mantuvieron 12 h en tarjas con agua de mar filtrada. Los cabos de cultivo se transportaron al sitio de estudio mediante hieleras, dentro de bolsas plásticas negras de 150 L para evitar su sobre-exposición a la luz solar. Los cabos de cultivo con las

plántulas fueron instalados en el mar, transcurridas máximo 12 h del encordado, mediante buceo autónomo. En los cultivos horizontales, los cabos fueron instalados a una profundidad de 7 m (Figura 8), mientras que para el caso de los cultivos verticales, se manejaron tres intervalos de profundidad (2-4, 7-9 y 12-14 m) (Figura 9).

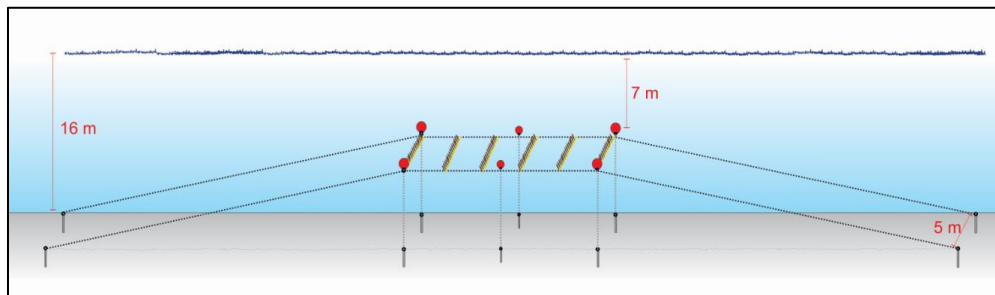


Figura 8.- Esquema del sistema de cultivo horizontal de algas pardas.

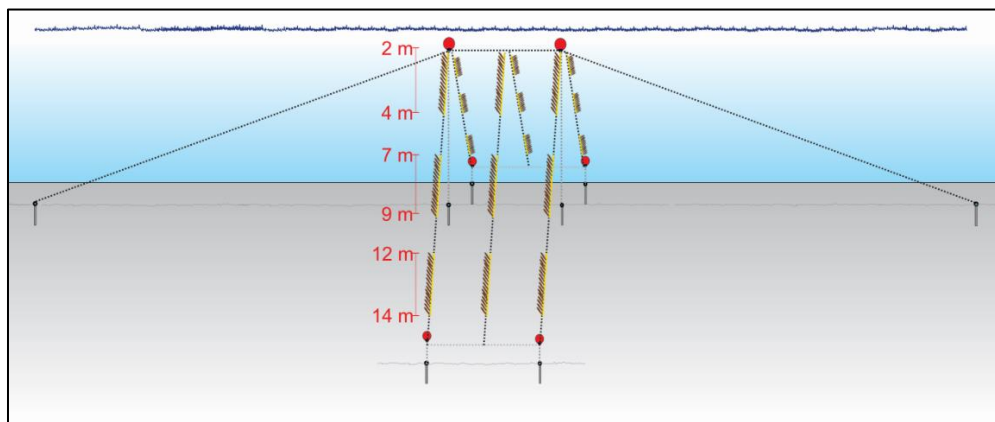


Figura 9.- Esquema del sistema de cultivo vertical de algas pardas.

5.5. MUESTREOS

Se realizaron distintos muestreos *in situ* mediante buceo autónomo, con el fin de supervisar la evolución de las tallas de individuos de ambas especies (*E. arborea* y *M. pyrifera*) (Tabla III).

Tabla III.- Calendario de muestreos *in situ*.

Muestreos →	10-Oct-15	31-oct-15	30-Mar-16	12-May-16	23-Jun-16	19-Ago-16
Cultivos ↓						
14-Sep-15	X					
10-Oct-15		X				
17-Feb-16			X	X	X	X
30-Mar-16				X		X
30-Jun-16						X

En cada muestreo se midieron las tallas de 30 plantas de dos cabos de cultivo elegidos al azar por cada profundidad (15 algas por cabo). Los datos se obtuvieron utilizando una cinta métrica de fibra de vidrio, con precisión de 0.1 cm, para estimar el incremento en talla de la fecha de cultivo al muestreo. Además se tomaron fotografías tanto del estado de las algas como de la fauna asociada con los cultivos.

Por otra parte, se realizaron muestreos destructivos en primavera, verano y otoño del 2016 (Tabla IV).

Tabla IV.- Calendario de muestreos destructivos. En paréntesis; numero cabos de cultivo muestreados.

Muestreos→	30-Mar-16	30-Jul-16	30-Nov-16
Cultivos↓			
14-Sep-15			
10-Oct-15			
17-Feb-16	E. arborea (2)	E. arborea (2)	E. arborea (2)
30-Mar-16			E. arborea (2) M. piryfera (2)
30-Jun-16			E. arborea (6)

El muestreo consistió en recuperar dos cabos de cultivo por siembra y especie, las cuales fueron seleccionadas al azar. Los datos se colectaron por longitud de cultivo y por alga. Por longitud de cultivo se pesó cada metro del cabo de cultivo, mediante una balanza digital marca Mustad, precisión de 10 g, así como la supervivencia (densidad) por cada intervalo de profundidad. Por alga se midieron las tallas y pesaron 15 algas por cabo de cultivo, un total de 30 algas por siembra, profundidad y especie; las algas también fueron seleccionadas aleatoriamente. Las tallas se obtuvieron midiendo de la parte basal del estipe hasta el ápice de la fronda, mediante una cinta métrica de fibra de vidrio, con precisión de 0.1 cm. Las algas se pesaron mediante dos balanzas, si pesaban por debajo de los 2 kg se utilizó una balanza digital marca Ohaus, modelo SP2001 AM, con precisión de 0.1 g, y si sobrepasaban este peso se usó una balanza digital marca Mustad (50 lb), con precisión de 10 g. El desarrollo de los esporofitos de

E. arborea se determinó utilizando el criterio de Arnold (1980) y posteriormente se calculó la proporción por grado de desarrollo con respecto al total de algas muestreadas por intervalo de profundidad. El criterio se basa en las siguientes diferencias morfológicas (Figura 10):

- A. Fronda principal con terminación apical en punta.
- B. Degradación y pérdida de la parte apical (trunca), crecimiento del estipe y cambio de aspecto en la parte basal de liso a borde aserrado.
- C. Crecimiento de frondas secundarias en forma de lobulaciones en los bordes de la fronda principal.
- D. Evidente degradación de fronda principal y desarrollo de frondas secundarias.
- E. Máximo grado de desarrollo, pérdida total de la fronda principal, bifurcación y desarrollo de frondas secundarias, así como del estipe.

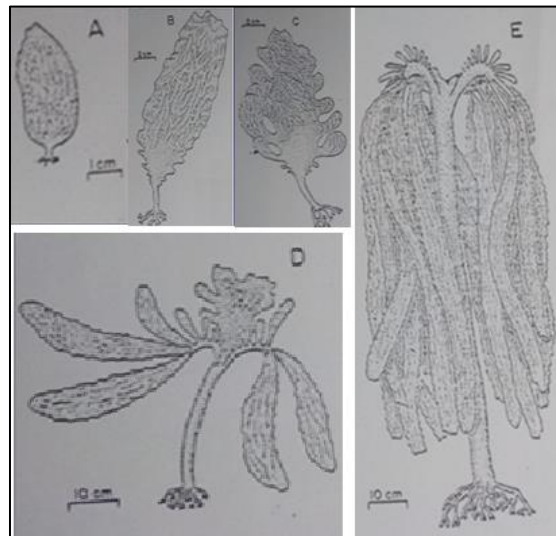


Figura 10.- Desarrollo de *E. arborea* según Arnold (1980).

Para el caso de *E. arborea* se estimó también el porcentaje en peso de los epibiontes presentes en las algas; para lo cual se calculó el porcentaje de área cubierta con organismos, se pesaron los esporofitos, y limpiaron con esponja, agua de mar y en

algunas ocasiones se utilizó una espátula para remover la mayor cantidad de epibiontes, de nueva cuenta se pesaron las algas y calculó el porcentaje de área aun cubierta por epibiontes. El porcentaje en peso se determinó sumando el peso de epibiontes que se logró remover del alga y el peso proporcional al porcentaje de área cubierta con organismos que permaneció en el alga, el cual se obtuvo mediante la regla de tres. El porcentaje en peso se aplicó a tres algas por cabo de cultivo, por lo que el promedio se obtuvo de seis algas por siembra y profundidad de cultivo.

5.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó el análisis estadístico de las tallas y pesos por alga, así como la biomasa y densidad por metro de cultivo, de cada intervalo de profundidad de cultivo. Para esto se utilizó la prueba no paramétrica de suma de rangos de Wilcoxon, ya que los datos mostraron distribuciones no gaussianas y valores extremos. El contraste se realizó entre profundidades de cultivo por especie a un nivel de significancia del 0.05. La distribución de los datos se analizó mediante la prueba Q-Q (Liang *et al.*, 2004) y se consideraron valores extremos aquellos datos mayores a dos desviaciones estándar de la media, utilizando la prueba Z.

6. RESULTADOS

6.1. FACTORES ABIÓTICOS

6.1.1. TEMPERATURA

La temperatura en el sitio de estudio presentó claramente dos comportamientos, la estratificación de la columna de agua, así como un período de mezcla. Bahía Santa María, presentó estratificación de la columna de agua desde el inicio del estudio (otoño del 2015) con temperatura promedio de $20.8 \pm 1.3^{\circ}\text{C}$, que después se mezcló a partir de invierno (2 de noviembre del 2015) presentando una temperatura de $19.2 \pm 0.7^{\circ}\text{C}$, condición que permaneció hasta la primavera (12 de marzo del 2016), donde la columna presentó de nueva cuenta, una marcada estratificación que duró hasta el final del estudio, sin embargo dentro de esta última condición, se observó el período de surgencias que abarcó de primavera a verano (10 de marzo al 24 de julio), con una temperatura promedio de $14 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ con dos eventos de temperatura mayores a 17°C con duración de 2 días y 1 semana (20-21 abril y 22-29 de junio del 2016, respectivamente), así como un aumento en la temperatura a $15.2 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$ a partir del 25 de julio al 30 de noviembre del 2016, donde se presentaron dos eventos con temperaturas mayores a 17°C , con una duración de 2 y 3 semanas (24 de julio al 7 de agosto y del 22 de septiembre al 14 de octubre). La temperatura del otoño del 2015 fue mayor con respecto al 2016 (Figura 11).

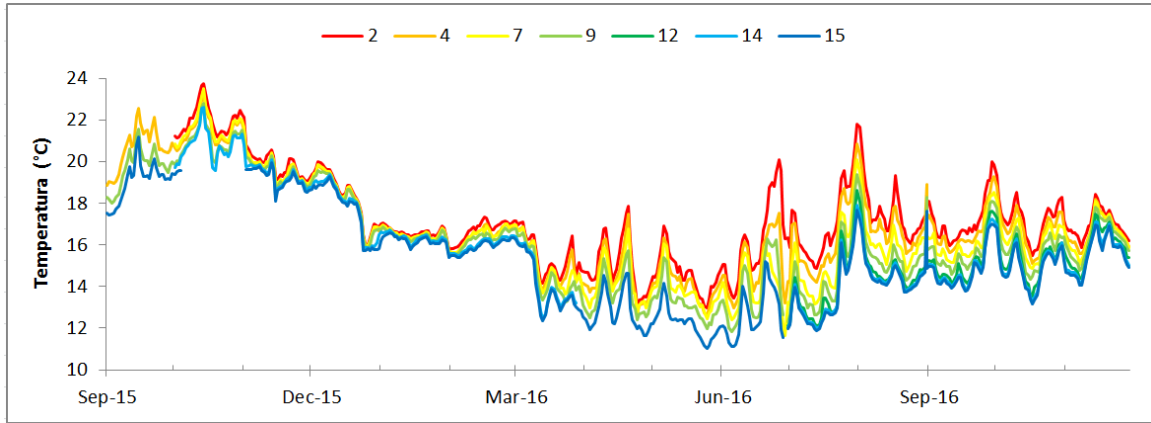


Figura 11.- Promedio diario de temperatura del sitio de estudio, durante el período de los cultivos; profundidad en metros (colores).

6.1.2. INDICE DE SURGENCIAS

Las menores surgencias ($< 100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) se presentaron tanto en otoño-invierno del 2015-2016 (septiembre a febrero), como el otoño del 2016 (octubre-noviembre) y mayores surgencias ($>100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) de primavera a principios del otoño del 2016 (marzo-septiembre), con las máximas de junio-agosto ($> 250 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) (Figura 12)

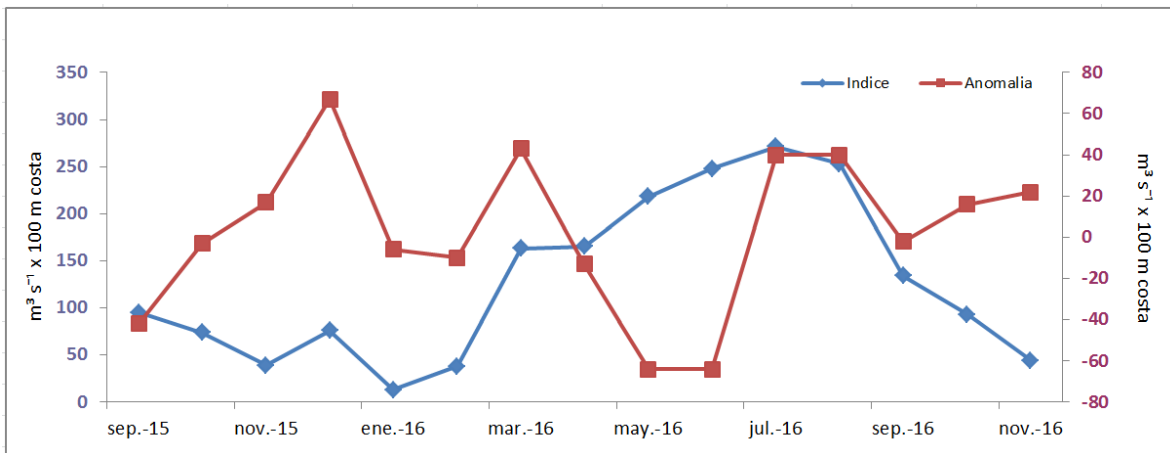


Figura 12.- Índice de surgencias estimado frente a San Quintín, B. C.; promedio mensual (línea azul) y anomalías (línea roja); unidades en $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ por 100 m costa.

6.1.3. NUTRIENTES

Los datos de nitratos más nitritos (nutrientes) de Bahía Santa María, muestran que las menores concentraciones de nutrientes se presentan a mayores temperaturas del agua, lo que ocurre en otoño, la menor correlación temperatura-nutrientes se observa en primavera y verano, presentando la mayor correlación en invierno (Figura 13).

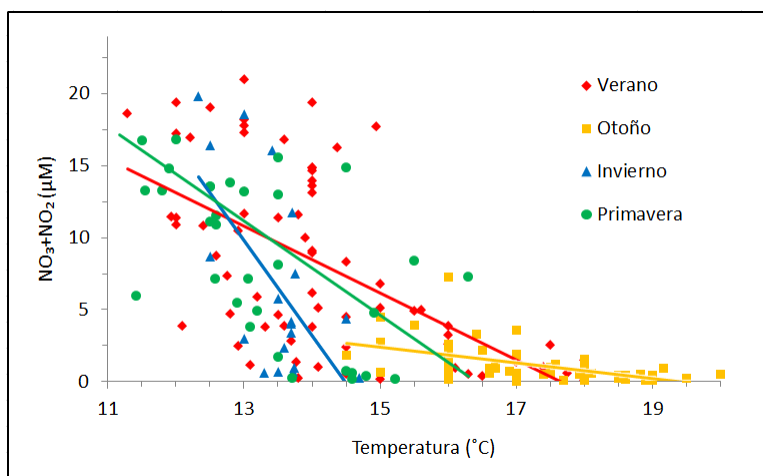


Figura 13.- Relación de la temperatura y concentración de nutrientes de Bahía Santa María; diferencias en color según estación del año y correspondientes líneas de tendencia.

Considerando todos los datos de nutrientes, se observa, que cuando la temperatura del agua en Bahía Santa María supera los 17.4°C, la concentración de nutrientes tiende a ser menor a 1 μM (Figura 14)

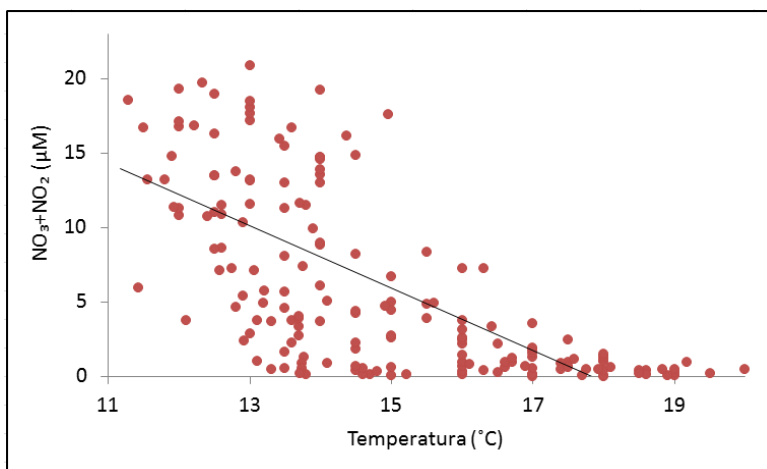


Figura 14.- Correlación de la temperatura y concentración de nutrientes (NO_3+NO_2) de Bahía Santa María; línea de tendencia.

6.1.4. IRRADIANCIA

La luz solar muestra un comportamiento distinto según estación del año, en Cabo San Quintín (a 6 km del sitio de estudio), las mayores irradiancias en la superficie se observan en primavera y otoño ($> 1400 \mu\text{mol fotonos m}^2 \text{ s}^{-1}$), seguido de invierno ($> 1300 \mu\text{mol fotonos m}^2 \text{ s}^{-1}$), presentando la menor irradiancia en verano ($< 900 \mu\text{mol fotonos m}^2 \text{ s}^{-1}$). La atenuación de la luz en la profundidad es menor en otoño y primavera, aumentando a partir del primer de profundidad. La mayor atenuación de la luz se observa en verano e invierno, aumentando considerablemente a partir de los tres metros de profundidad, presentando en invierno la menor disponibilidad de luz en el fondo. Por su parte en verano, se percibe una menor cantidad de luz en la superficie hasta los ocho metros de profundidad, a partir de donde se comporta de manera similar a primavera y otoño (Figura 14).

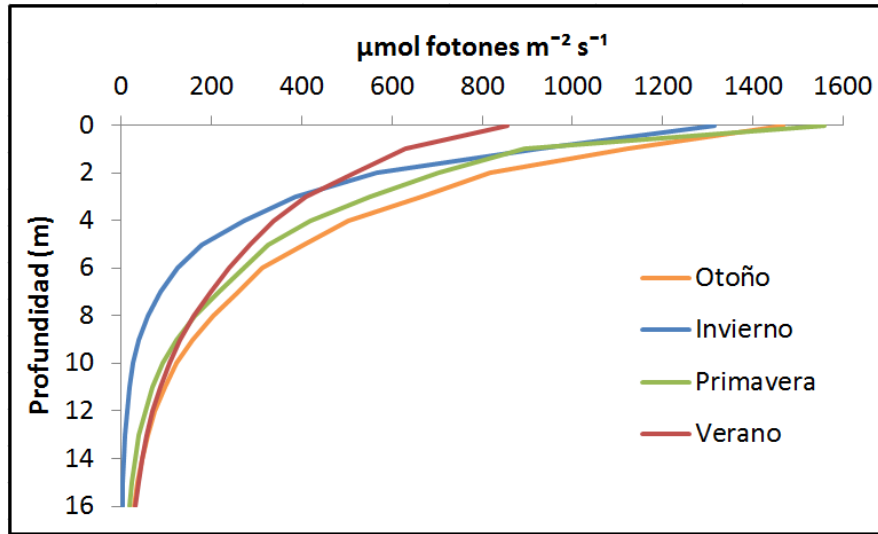


Figura 14.- Promedios de la irradiancia por estación del año de Cabo San Quintín.

6.2. CULTIVOS DE OTOÑO

6.2.1. *Macrocystis pyrifera*

Los cultivos en el mar se iniciaron a partir del 14 de septiembre del 2015 con esporofitas de *M. pyrifera* producidas de esporas colectadas el 9 de julio del 2015, que presentaron una talla promedio inicial de 1.29 ± 0.61 cm, peso de 0.005 ± 0.003 g y densidad de $2'230$ algas m^{-1} de cultivo. Las algas no lograron sobrevivir para el monitoreo *in situ* del 31 octubre 2015. Sin embargo para el 10 de octubre del 2015, las cultivadas de 12-14 m de profundidad, presentaron una sobrevivencia del 0.2 % (5 algas m^{-1}) en un periodo de 26 días, presentando un incremento en talla de 0.73 cm (Figura 15 a y 15 b).

6.2.2. *Eisenia arborea*

El 10 de octubre del 2015 se realizó la primer siembra en el mar de algas esporofitas de *E. arborea* producidas de esporas colectadas el 17 de julio del 2015, con una talla

promedio inicial de 1.27 ± 0.56 cm, peso de 0.005 ± 0.003 g y densidad de 2'400 algas m^{-1} de cultivo, así como un grado de desarrollo "A". Las algas no sobrevivir el otoño, sin embargo, a los 21 días de iniciado el cultivo (31 de octubre de 2015), las algas cultivadas en los intervalos de 7-9 y 12-14 m de profundidad presentaron sobrevivencias del 12.3 % (295 algas m^{-1}) y 2.1 % (50 algas m^{-1}), así como un incremento en talla de 1.7 y 2.8 cm, respectivamente, el análisis estadístico mostro una diferencia significativa en talla entre ambas profundidades, siendo mayor en el intervalo más profundo (Figura 15 a y 15 b), las algas no presentaron evolución en cuanto al grado de desarrollo.

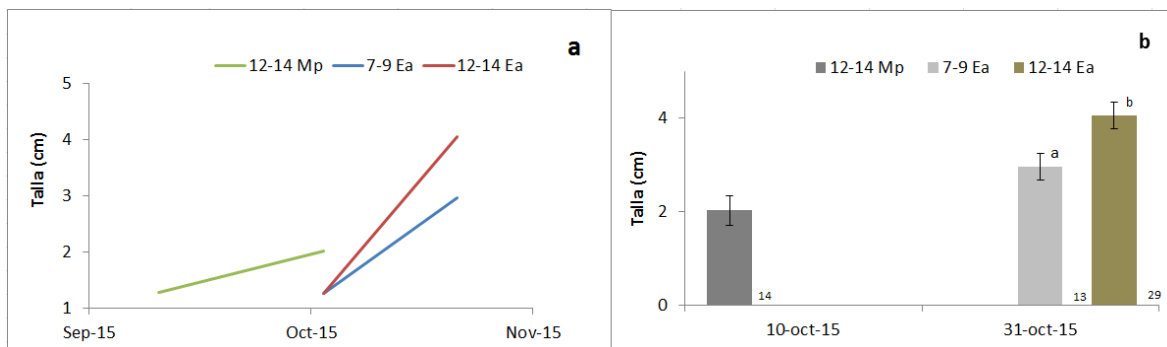


Figura 15.- Tallas promedio de esporofitas de *M. pyrifera* y *E. arborea* cultivadas en otoño del 2015; comportamiento de las tallas en el tiempo (a) y promedios de las tallas finales (b); subíndices superiores (letra) resultado del contraste entre profundidades e inferiores (número) cantidad de muestras (n) y barras del error estándar.

En el muestreo de noviembre del 2016 las algas de *M. pyrifera*, se encontraron enredadas en una cuerda de cultivo contigua (Figura 16), las cuerdas de cultivo se instalaron a intervalos de 2 metros.



Figura 16.- Algas de *M. pyrifera* enredadas en cuerda de cultivo contigua.

6.3. CULTIVO DE INVIERNO (*Eisenia arborea*)

Algas esporofitas de *E. arborea* producidas de esporas colectadas el 10 de noviembre del 2015, fueron sembradas con una talla promedio de 3.0 ± 0.7 cm, peso de 0.012 ± 0.007 gramos y densidad de 856 algas m^{-1} . Se realizaron cuatro muestreos *in situ* (marzo, mayo, junio y agosto) y dos destructivos (julio y noviembre de 2016).

6.3.1. TALLA

Se observaron tallas máximas de junio a julio en el intervalo de 2-4 m de profundidad, para agosto y noviembre las mayores tallas se presentaron en el intervalo de 7-9 m, para noviembre del 2016 la talla de las algas se redujo en todas las profundidades indicando pérdida de tejido, reduciéndose hasta 69.9, 30.4 y 53.7 % para 2-4, 7-9 y 12-14 m, respectivamente (Figura 17).

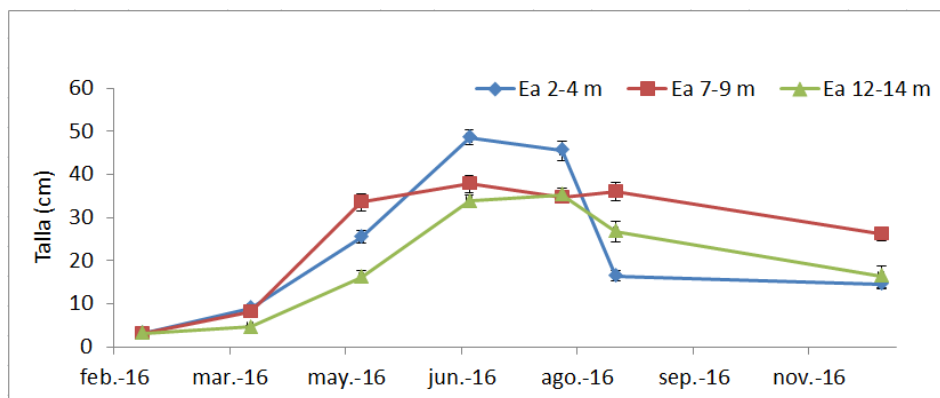


Figura 17.- Promedio y logaritmo natural de las tallas de esporofitas de *E. arborea* cultivadas a tres intervalos de profundidad, en el período de febrero a noviembre del 2016.

A los 163 días del cultivo (29 de julio de 2016), la talla fue significativamente mayor en el intervalo de 2-4 m alcanzando longitudes de 45.5 cm, y menor de 7-9 y 12-14 m de profundidad que presentaron tallas de 34.7 y 35.3 cm (Figura 18). Sin embargo transcurridos 262 días (30 de noviembre de 2016), la talla presentó una reducción en todos los intervalos de profundidad, la cual fue significativamente mayor en los intervalos de 2-4 y 12-14 m, que presentó reducciones del 67.8 y 53.7 %, por su parte el intervalo de 7-9 m, mostró un 24.2 % de reducción (Figura 18).

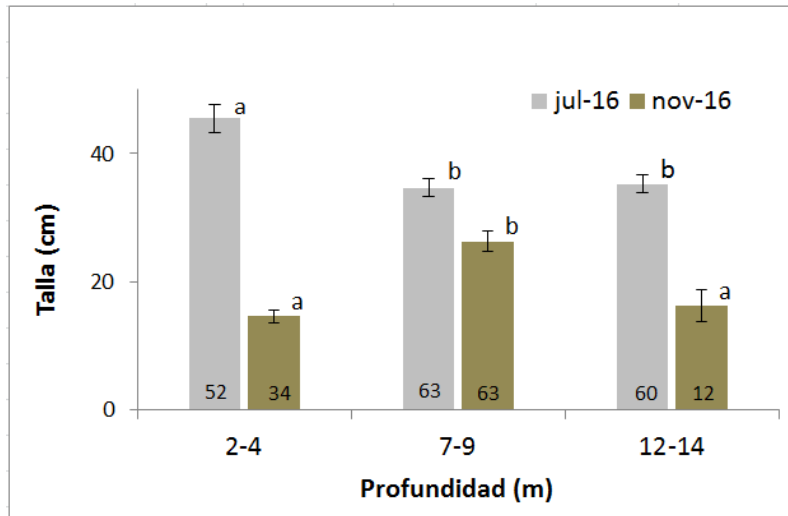


Figura 18.- Tallas promedio de verano y otoño del 2016 de esporofitas de *E. arborea* cultivadas a tres intervalos de profundidad, a partir de febrero del 2016; subíndices superiores (letra) resultado del contraste entre profundidades por muestreo e inferiores (número) cantidad de muestras (n) y barras del error estándar.

6.3.2. PESO

En julio del 2016, las algas presentaron los mayores pesos en el intervalo superior, disminuyendo con la profundidad, mostrando diferencias significativas entre los intervalos, los cuales presentaron crecimientos específicos de 5.2, 4.8 y 4.5 % día⁻¹ (Figura 19). Para noviembre del 2016, el peso mostró una reducción significativa en el intervalo de 2-4 m que fue del 75.4 %, por el contrario en el intervalo de 7-9 m se observó un aumento del 3.8 % (Figura 19).

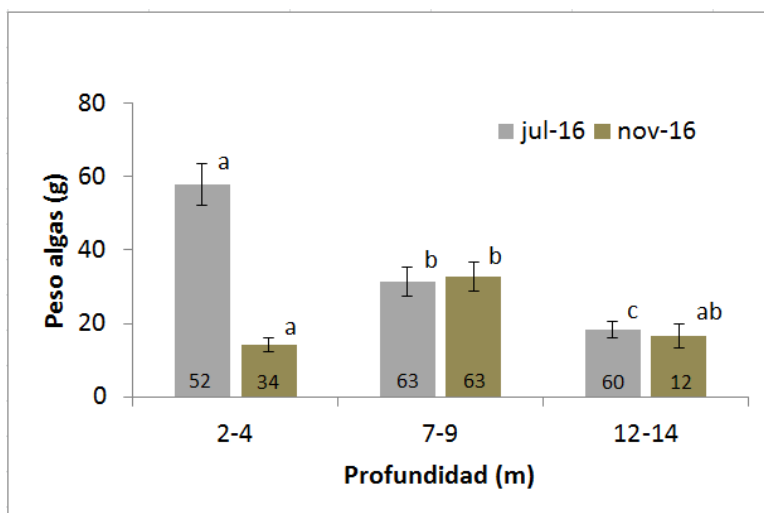


Figura 19.- Promedios de los pesos de verano y otoño del 2016 de esporofitas de *E. arborea* cultivada a tres intervalos de profundidad, a partir de febrero del 2016; subíndices superiores (letra) resultado del contraste entre profundidades por muestreo e inferiores (número) cantidad de muestras (n) y barras del error estándar.

6.3.3. DESARROLLO

Con base en el grado de desarrollo de Arnold (1980) de *E. arborea*, se clasificaron las algas muestreadas y se determinó su porcentaje con respecto al total de algas por intervalo de profundidad. Para julio del 2016 se observó un comportamiento inverso entre el grado “B” y “C” de desarrollo, siendo mayor el porcentaje de algas con el grado “C” en el intervalo superior (2-4 m) disminuyendo con la profundidad y el grado “B” se comportó de manera inversa. El grado “A” se observó solamente de 7-14 m de profundidad (Figura 20 a). Para noviembre del 2016, se observó el grado “C” en todos los intervalos y el grado “D” de 2-9 m de profundidad, siendo mayor el grado “D” en el intervalo de 7-9 m y en menor proporción de 2-4 m de profundidad (Figura 20 b).

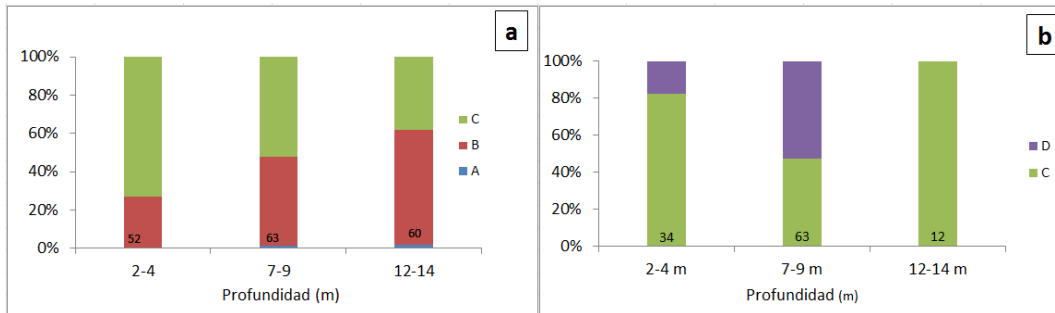


Figura 20.- Porcentaje del grado de desarrollo de esporofitas de *E. arborea*, instaladas a tres diferentes intervalos de profundidad, a partir de febrero del 2016; muestreo de julio (a) y noviembre (b) del 2016; subíndices en base (número) cantidad de muestras (n).

6.3.4. EPIBIONTES

Se calculó el porcentaje de epibiontes con respecto al peso de las algas. Para verano, después de 163 días de cultivo se observó un mayor porcentaje de epibiontes en el intervalo de 7-9 m y menor de 2-4 m (Figuras 21 y 22), sin embargo una revisión de los cultivos en junio, se observó una menor cantidad de epibiontes de 7-9 m (Figura 21 y 22).

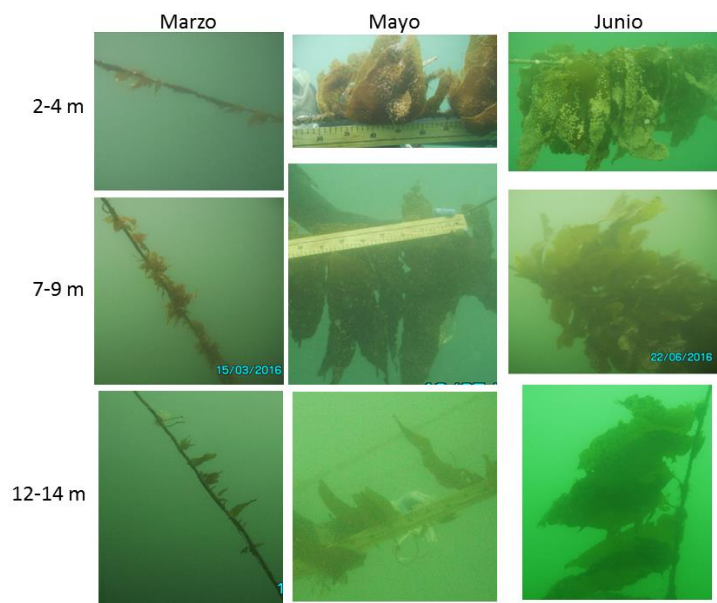


Figura 21.- Evolución del cultivo de *E. arborea* de invierno del 2016.

Para finales de otoño a 262 días de cultivo, el porcentaje fue similar para todos los intervalos (Figura 22).

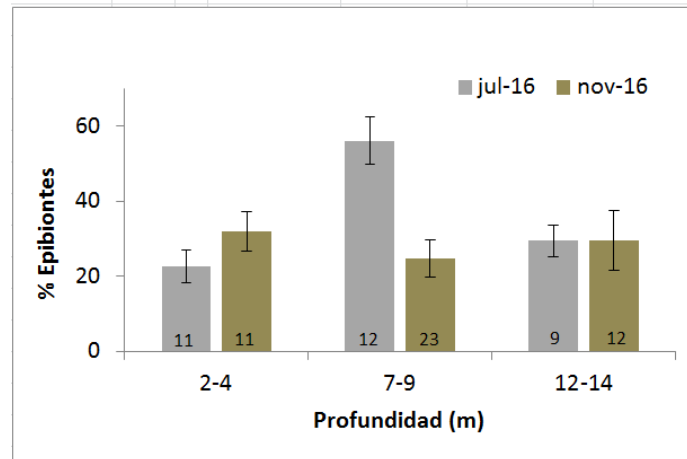


Figura 22.- Porcentaje de epibiontes con respecto al peso de las algas de julio y noviembre del 2016 de esporofitas de *E. arborea*, cultivadas a tres intervalos de profundidad, a partir de febrero del 2016; subíndices (número) cantidad de muestras (n) y barras del error estándar.

6.3.5. BIOMASA

El promedio de la biomasa por metro de cultivo, presentó en el verano del 2016 los valores significativamente mayores en los intervalos de profundidad de 2-4 y 7-9 m, siendo 5 y 6.8 veces mayor con respecto al intervalo de 12-14 m de profundidad (Figura 23). Con base en el análisis estadístico, la biomasa por metro de cultivo para finales de otoño del 2016, no fueron significativamente diferentes (Figura 23).

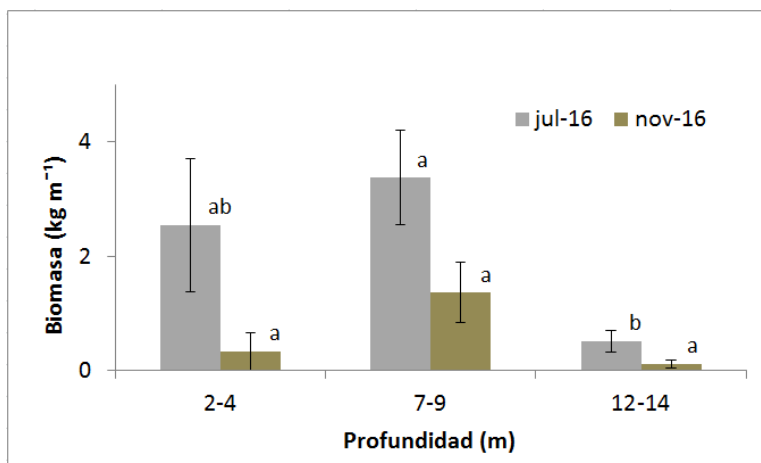


Figura 23.- Biomasa por metro de cultivo de julio y noviembre del 2016 de esporofitas de *E. arborea*, cultivadas a tres intervalos de profundidad a partir de febrero del 2016; subíndices superiores (letra) resultado del contraste entre profundidades por muestreo e inferiores (número) cantidad de muestras (n) y barras del error estándar.

6.3.6. DENSIDAD

La sobrevivencia por metro de cultivo a los 163 días (julio) en el mar fue significativamente mayor en los intervalos de 2-4 y 7-9 m, siendo 1.5 y 2.7 veces mayor que el intervalo de 12-14 m (Figura 24). Sin embargo a los 262 días (noviembre) de cultivo no se presentaron diferencias significativas entre los intervalos de profundidad (Figura 24).

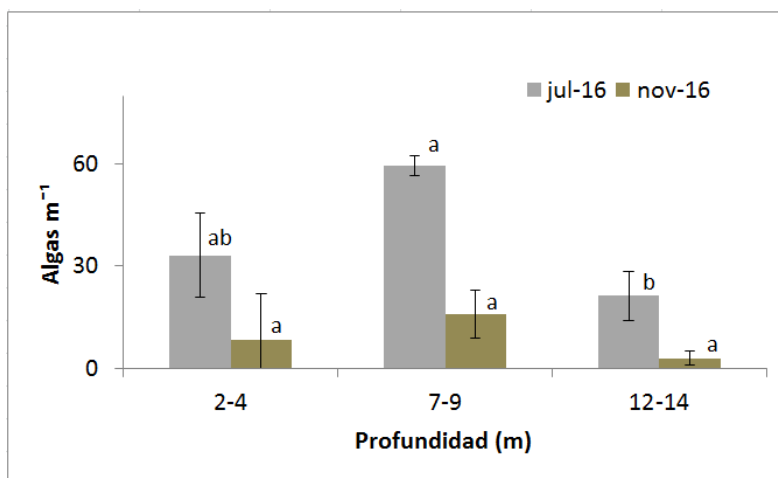


Figura 24.- Promedios de la densidad de algas por metro de cultivo de julio y noviembre del 2016 de esporofitas de *E. arborea*, cultivadas a tres intervalos de profundidad a partir de febrero del 2016; subíndices (letra) resultado del contraste entre profundidades por muestreo y barras del error estándar.

6.4. CULTIVOS DE PRIMAVERA

Algas esporofitas de *M. pyrifera* y *E. arborea* producidas de esporas colectadas el 29 de diciembre del 2015 y el 5 de febrero del 2016, respectivamente, fueron sembradas en el mar el 30 de marzo del 2016. Los datos se obtuvieron de dos muestreos *in situ* (junio y agosto del 2016) y el destructivo realizado el 30 noviembre de 2016 (245 días de cultivo).

6.4.1. *Macrocystis pyrifera*

Las esporofitas de *M. pyrifera* cultivadas a partir de marzo del 2016, presentaron una talla inicial de 1.5 ± 0.8 cm, peso 0.006 ± 0.002 gramos y densidad de 39 algas m⁻¹. Para noviembre del 2016 solamente se presentó sobrevivencia de 7-9 m de profundidad, tres algas alcanzaron tallas entre 2.25 a 4.1 m, ocho algas de 10 a 40 cm y quince algas entre 1.3 a 5 cm, las mayores presentaron de 4 a 6 frondas y pesos

entre 1 a 4 kg, respectivamente, correspondiente a una biomasa de 1.8 kg m^{-1} (Figura 25).



Figura 25.- Esporofitas de *M. pyrifera*, cultivada de 7-9 m de profundidad, a partir de marzo del 2016; fotografía tomada *in situ* en agosto del 2016 (A) y fotografía tomada al término del cultivo (B).

6.4.2. *Eisenia arborea*

Las algas esporofitas de *E. arborea*, presentaron una talla promedio inicial de $0.73 \pm 0.38 \text{ cm}$, peso de $0.003 \pm 0.001 \text{ gramos}$ y densidad de $1'568 \text{ algas m}^{-1}$. Ya que la sobrevivencia fue muy baja, en los muestreos se midieron el total de muestras.

6.4.2.1. TALLA

El promedio de las tallas durante el periodo del cultivo, mostraron incrementos durante los primeros tres meses, para junio se observó la mayor talla de 2-4 m de profundidad, siendo 1.6 veces mayor que en el intervalo de 12-14 m, sin embargo, no sobrevivieron para el muestreo de agosto (Figura 26). Para el mes de agosto se observó un mayor incremento en la talla de algas cultivadas en el intervalo de 12-14 m con respecto del intervalo de 7-9 m (Figura 26). Las algas ubicadas a 12-14 m de profundidad, mostraron un incremento en talla constante durante el periodo del cultivo (Figura 26).

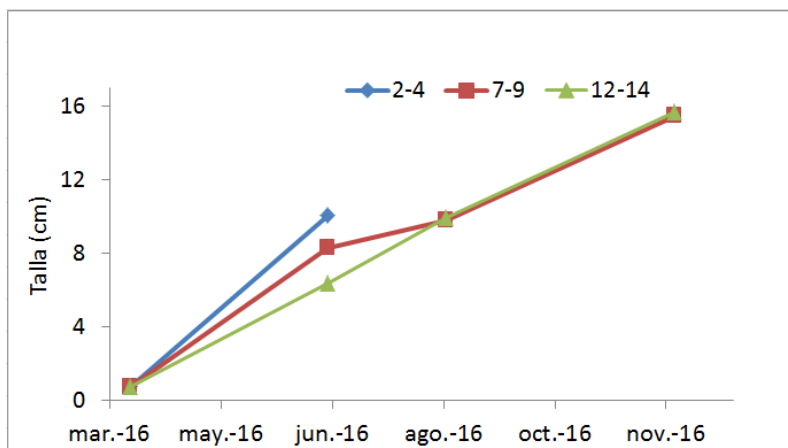


Figura 26.- Promedios de las tallas de esporofitas de *E. arborea* cultivadas a tres intervalos de profundidad, en el período de primavera a otoño del 2016.

6.4.2.2. PESO

Al igual que la talla, el incremento en peso no fue significativamente diferente de 7-14 m de profundidad para noviembre del 2016, las algas alcanzaron un crecimiento específico de $3.4 \% \text{ días}^{-1}$ (Figura 27).

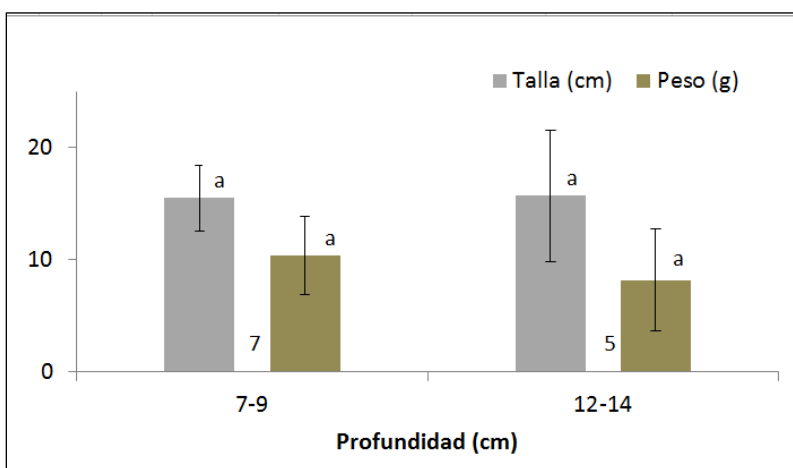


Figura 27.- Promedios de las tallas y pesos de verano y otoño del 2016 de esporofitas de *E. arborea* cultivadas a tres intervalos de profundidad, a partir de marzo del 2016; subíndices superiores (letra) resultado del contraste entre profundidades por muestreo e inferiores (número) cantidad de muestras (n) y barras del error estándar.

6.4.2.3. DESARROLLO

Para noviembre del 2016, las algas cultivadas de 7-14 m de profundidad, presentaron grados de desarrollo "A", "B" y "C". En el intervalo de 7-9 m de profundidad, el grado "B" presentó el mayor porcentaje y menor el grado "A", por su parte en el intervalo en el intervalo de 12-14 m, los mayores porcentajes fueron del grado "A" y "D" (Figura 28).

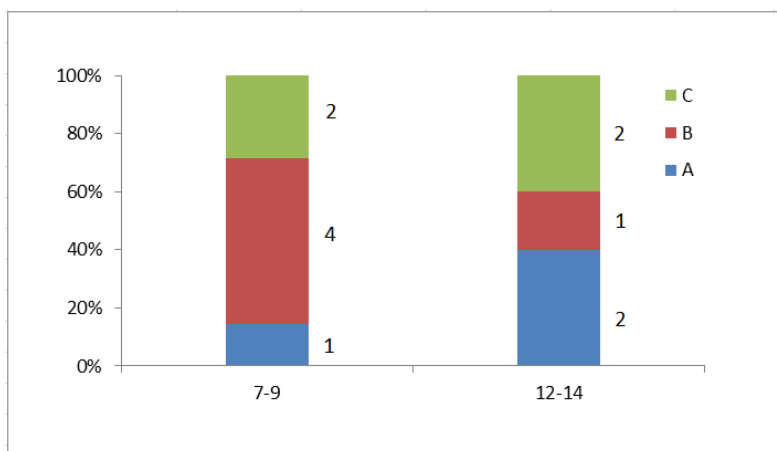


Figura 28.- Porcentaje del grado de desarrollo de esporofitas de *E. arborea*, cultivadas de marzo a noviembre del 2016; subíndices junto columnas (número) cantidad de algas (n) por grado de desarrollo.

6.4.2.4. EPIBIONTES

El porcentaje de epibiontes con respecto al peso de las algas, para finales de otoño, después de 245 días de cultivo se observó un mayor porcentaje de epibiontes en el intervalo de profundidad de 12-14 m (59 %) y menor de 7-9 m (17 %) (Figura 29).

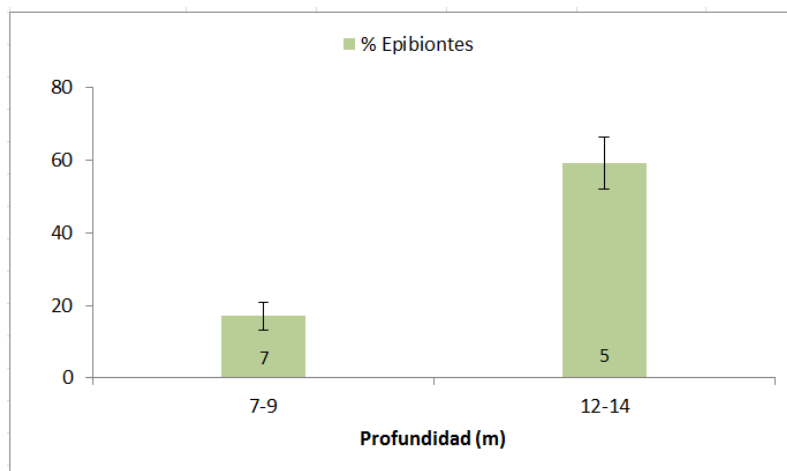


Figura 29.- Porcentaje de epibiontes con respecto al peso de las algas de julio y noviembre del 2016 de esporofitas de *E. arborea*, cultivadas a tres intervalos de profundidad, a partir de marzo del 2016; subíndices (número) cantidad de muestras (n) y barras del error estándar.

6.4.2.5. BIOMASA Y DENSIDAD

Para noviembre del 2016, el peso de las algas por metro de cultivo, fue muy bajo en ambos intervalos (7-9 y 12-14 m), siendo casi el doble a la menor profundidad (0.07 kg m^{-1}) con respecto a mayor profundidad (0.04 kg m^{-1}). La sobrevivencia mostró una tendencia decreciente en el tiempo, a partir del cultivo en el mar, la cual fue significativamente mayor en marzo y menor en noviembre del 2016, que transcurridos 245 días se observó una sobrevivencia del 0.45 y 0.32 % en los intervalos de 7-9 y 12-14 m, respectivamente, lo que correspondió a una densidad de 2 y 1 algas m^{-1} (Figura 30).

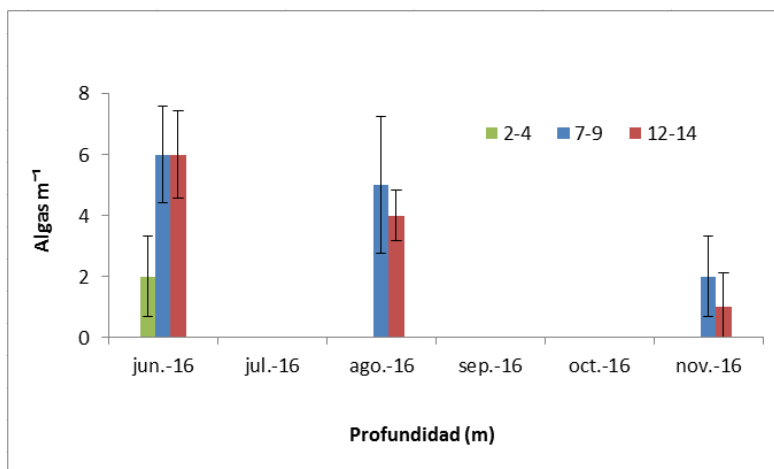


Figura 30.- Promedios de la densidad de algas por metro de cultivo de julio y noviembre del 2016 de esporofitas de *E. arborea*, cultivadas a tres intervalos de profundidad, a partir de marzo del 2016; subíndices (letra) resultado del contraste entre profundidades por muestreo y barras del error estándar.

6.5. CULTIVO DE VERANO (*Eisenia arborea*)

Las algas esporofitas de *E. arborea*, fueron sembradas el 30 de junio del 2016 a una talla promedio de 2.78 ± 1.97 cm, peso de 0.009 ± 0.005 gramos y densidad de 11 algas m^{-1} . Los datos se obtuvieron del muestreo *in situ* de agosto del 2016 y el destructivo realizado el 30 noviembre de 2016 (153 días de cultivo).

6.5.1. TALLA

En agosto se observó un mayor incremento en talla de 7-9 m de profundidad, siendo 2.9 veces mayor que el intervalo de 2-4 m, sin embargo para noviembre del 2016, se comportaron de manera inversa, ya que algas cultivadas de 2-4 m de profundidad fueron 1.15 veces mayores que las ubicadas de 7-9 m, sin embargo, las mayores tallas se presentaron de 12-14 m (Figura 31).

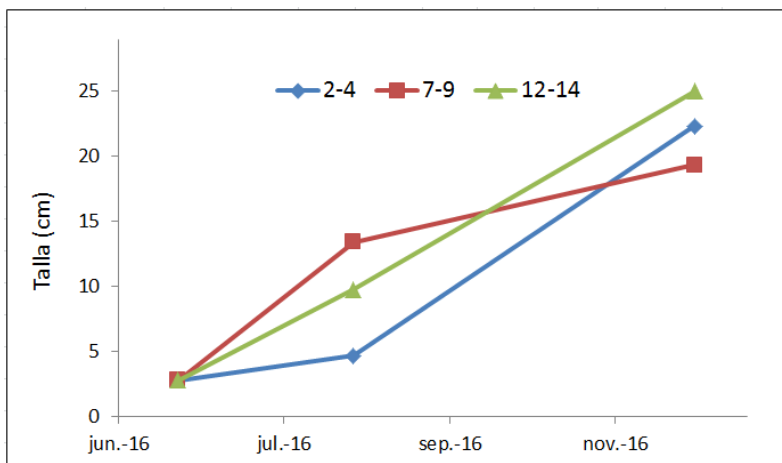


Figura 31.- Promedios y logaritmo natural de las tallas de esporofitas de *E. arborea* cultivadas a tres intervalos de profundidad, en el período de verano a otoño del 2016.

A los 153 días de cultivo (junio a noviembre), las tallas de las algas cultivadas en el intervalo de menor profundidad (2-4 m) y las algas de profundidad media (7-9 m) presentaron diferencias significativas (Figura 32).

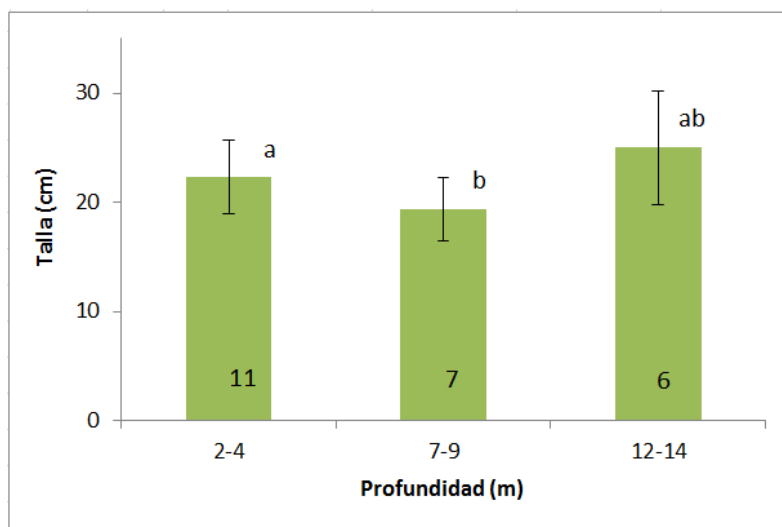


Figura 32.- Promedios de las tallas de otoño del 2016 de esporofitas de *E. arborea* cultivadas a tres intervalos de profundidad, a partir de junio del 2016; subíndices superiores (letra) resultado del contraste entre profundidades por muestreo e inferiores (número) cantidad de muestras (n) y barras del error estándar.

6.5.2. PESO

En el periodo de junio a noviembre del 2016, el peso de las algas presentaron diferencias significativas entre los intervalos de profundidad. La tendencia de los pesos de manera descendente fue de 12-14, 2-4 y 7-9 m, con crecimientos específicos de 5.3, 5.1 y 4.9 % día⁻¹, respectivamente (Figura 33).

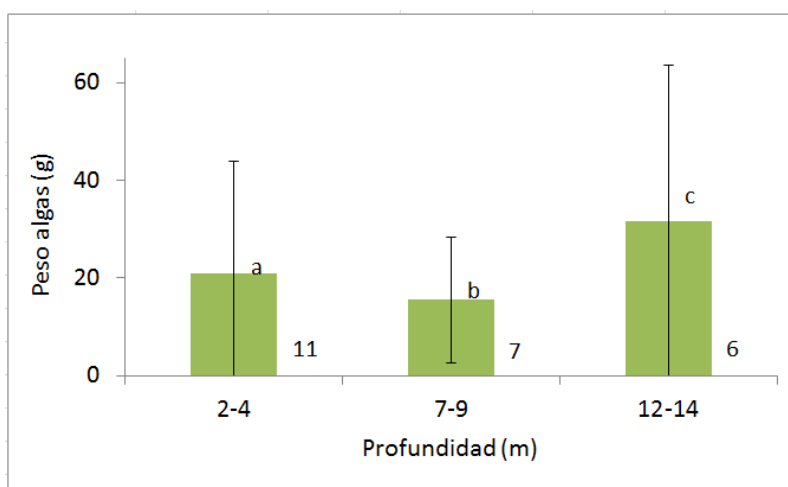


Figura 33.- Promedios de los pesos de otoño del 2016 de esporofitas de *E. arborea* cultivadas a tres intervalos de profundidad, a partir de junio del 2016; subíndices superiores (letra) resultado del contraste entre profundidades por muestreo e inferiores (número) cantidad de muestras (n) y barras del error estándar.

6.5.3. DESARROLLO

Para noviembre del 2016, se observó que las algas cultivadas de 2-4 m de profundidad, presentaron grados de desarrollo "A", "B" y "C", de 7-9 solamente "A" y "C", mientras que de 12-14 m fue "B" y "C". Los mayores porcentajes fueron del grado "C" en todas las profundidades (Figura 34).

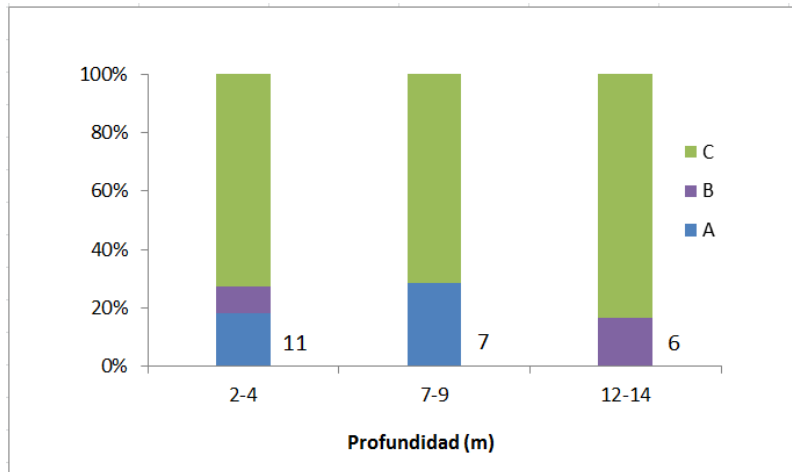


Figura 34.- Porcentaje del grado de desarrollo de esporofitas de *E. arborea*, cultivadas de junio a noviembre del 2016; subíndices junto columnas (número) cantidad de algas (n).

6.5.4. EPIBIONTES

Las algas del cultivo de verano, después de 153 días de cultivo, presentaron un menor porcentaje de epibiontes con respecto al peso de las algas, en el intervalo de profundidad de 2-4 m (9.7 %) y mayor de 7-14 m (28.7 %) (Figura 35).

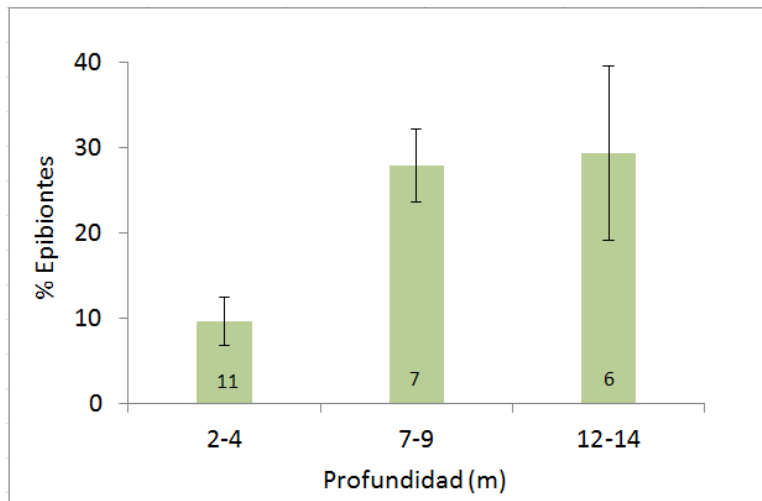


Figura 35.- Porcentaje de epibiontes con respecto al peso de las algas en noviembre del 2016 de esporofitas de *E. arborea*, cultivadas a tres intervalos de profundidad, a partir de junio del 2016; subíndices (número) cantidad de muestras (n) y barras del error estándar.

6.5.5. BIOMASA Y DENSIDAD

El peso de las algas por metro de cultivo para noviembre del 2016, presentó valores por debajo de 1 kg para todas las profundidades, (2-4, 7-9 y 12-14 m) con 0.06, 0.03 y 0.05 kg m⁻¹.

Para noviembre del 2016, se observó sobrevivencia de algas en todos los intervalos de profundidad (2-4, 7-9 y 12-14 m), sin embargo solamente sobrevivieron 11, 7 y 6 algas, del intervalo superficial al profundo, respectivamente.

7. DISCUSIONES

Los cultivos presentan diferencias entre la época y profundidad de cultivo, con la mayor producción por metro de cultivo de 7-9 m de profundidad en ambas especies y la mejor época del año en invierno para *E. arborea*, en verano para *M. pyrifera* con respecto al cultivo de otoño. Con base en los resultados, los parámetros que presentan mayor influencia en la biomasa son la densidad (sobrevivencia), peso del alga y el grado de desarrollo, ya que a mayor grado, las algas presentan una mayor superficie foliar. A pesar de 9 meses de cultivo (siembra de invierno) las algas no alcanzaron la adultez (bifurcación), por lo que se recomienda llevar a cabo cultivos por un mayor periodo.

La mayor biomasa de *Eisenia arborea* que se logró fue de 3.5 kg m^{-1} , valor que no difiere de los alcanzados por Hwang *et al.* (2010 y 2013) con *Ecklonia cava* de 2.6 a 3.6 kg m^{-1} , en un período de 12 y 15 meses de cultivo, sin embargo, menor a los 12 kg m^{-1} de *Ecklonia stolonifera* mencionado por Hwang *et al.* (2013).

Los mayores pesos alcanzados por esporofitos de *M. pyrifera* (0.99, 2.02 y 4.1 kg), no difieren con pesos entre 2.7 kg (máximo de 7 kg) conseguidos por Celis-Plá y Alveal (2012), sin embargo estos se lograron en un periodo de 3 meses de cultivo en el mar, versus 8 meses que duro nuestro estudio. Mayor fue el promedio alcanzado en el estudio de Westermeier *et al.* (2006) de 13.3 kg (80 kg/6 algas). Así como el que se logró en el trabajo preliminar en Bahía Santa María de diciembre del 2012 a mayo del

2013 con el peso máximo alcanzado de 10.5 kg (42 kg/4 algas), sin embargo, durante el período en que se llevó a cabo, el área de estudio presentó temperaturas por debajo de los 18°C (ver serie de tiempo de la temperatura, en anexos).

Los cultivos de otoño no sobrevivieron para el invierno, ya que la temperatura de finales de septiembre a finales de diciembre 2015, presentó valores por encima de los 17 °C, con una máxima de 23.7 °C, temperaturas a las cuales los nutrientes se tornan limitantes (< 1 µM NO₃), según la relación temperatura-NO₃ de Bahía Santa María, (datos proporcionados por investigadores del IIO-UABC), que corresponden con lo encontrado por Dayton et al (1999) en Point Loma, California y Hernández Carmona et al (2001) en Bahía Asunción, B. C. S. (16 y 18 °C, respectivamente), además que el índice de surgencias muestra anomalías negativas de septiembre a octubre, este hecho excedió el tiempo máximo de resistencia a bajas concentraciones de nutrientes, de 3 y 5 semanas para *M. pyrifera* y *E. arborea*, periodo encontrado por Gerard (1982) y Sanchez-Barredo et al (2011). Las algas sobrevivientes a los 26 y 21 días, se ubicaban de 12-14 m (*M. pyrifera*) y 7-14 m (*E. arborea*) de profundidad donde la temperatura fue menor (mayor concentración de nutrientes) y el mayor crecimiento fue de *E. arborea* con respecto a *M. pyrifera*, lo cual puede corresponder a su mayor capacidad de almacenamiento de nutrientes (Sanchez-Barredo et al, 2011), que se sabe que esporofitas juveniles de *M. pyrifera* tienen poca capacidad (Dean y Jacobsen, 1986)

A pesar de que las algas de *E. arborea* del cultivo de invierno duraron 9 meses en el mar, alcanzando tallas de 74 cm, no presentaron el máximo grado de desarrollo (bifurcación), en trabajos previos Zertuche-González y colaboradores (datos no

publicados) observaron que la bifurcación dentro de la Bahía de San Quintín, se presenta hasta los 18 meses, sin embargo Dayton et al (1999) encontraron que reclutas de 8-23 m de profundidad, observados en el campo, presentaron bifurcación entre los 4 a 8 meses de monitoreo. En el mismo trabajo los autores mencionan que *E. arborea* en el intervalo de 8-23 m de profundidad muestra una limitación por luz, en el presente estudio, basados en los resultados (crecimiento y sobrevivencia) de los cultivos de invierno y primavera, podemos mencionar que en años cálidos (eventos anómalos, con altas temperaturas por largos períodos) y a profundidades por arriba de los 7 m de profundidad *E. arborea* puede verse limitada por nutrientes y por debajo de los 9 m, la luz puede convertirse en el factor limitante, por lo que la profundidad optima de cultivo oscila entre estas profundidades.

Basados en la serie de tiempo de la temperatura de los últimos 4 años del sitio de estudio, podemos referir que en años normales y fríos (eventos de Niña), el cultivo se puede desarrollar durante todo el año.

Por lo aprendido, además que ambas especies de algas (*E. arborea* y *M. pyrifera*), son perennes, se recomienda llevar a cabo investigaciones con cultivos de por lo menos dos años de duración, para determinar si existe diferencia en la biomasa por metro de cultivo por año, comparando cosechar todo el cultivo versus solo las frondas para *E. arborea*, ya que estudios previos realizados por Zertuche-González y colaboradores (datos no publicados), sugieren la posibilidad de cosechar solamente las frondas, hasta dos veces por año, además el efecto de la densidad por metro de cultivo en la producción, sería otro parámetro por evaluar.

La reducción en talla a partir de junio en todos los intervalos de profundidad del cultivo de invierno, así como el observado de 2-9 m de profundidad del cultivo de primavera, corresponde con el incremento en la temperatura en julio del 2016, que sugiere un déficit de nutrientes.

Las bajas densidades obtenidas en el cultivo *in vitro*, pueden ser el resultado de la limpieza con iodo del tejido reproductivo, ya que Redmond et al (2014) recomiendan el uso de iodopovidona (Betadina) al 0.05 % que sería 60 veces menor concentración de iodo al 3%, recomendado por Flavin et al (2013), que fue utilizado en este estudio. Otra razón podría deberse a la cantidad de esporas al momento de inocular los carretes, Stekoll y Else (1990) utilizaron una concentración de 5'000 a 10'000 esporas por ml, Gutierrez et al (2006) recomiendan una concentración de siembra para *M.pyrifera* de 10'000 a 40'000 esporas por ml, en el presente trabajo se obtuvieron buenos resultados sembrando a una densidad de 1'000 células por ml, tomando como referencia a Merrill y Gillingam (1991) y Redmond et al (2014) que encuentran conveniente para el cultivo de *Nereocystis* y laminariales (respectivamente) una concentración de esporas de 1'000 a 5'000 células por ml, siendo la más recomendada 2'000 células por ml. Por lo tanto se recomienda probar diferentes concentraciones tanto de iodo, así como de esporas al inocular los carretes, para descartar su efecto en la sobrevivencia.

La falta de sobrevivencia de algas en los cultivos horizontales, no se pudo determinar, sin embargo, durante los muestreos *in situ* se observó la presencia de herbívoros, siendo más recurrente el cangrejo sargacero del sur *Taliepus nuttallii*, pero su efecto

sobre los cultivos no fue evaluado. La diferencia en profundidad entre las artes de cultivo, tal vez tuvo un efecto, debido al oleaje, ya que las líneas madre del cultivo vertical se encontraban de 2-16 m de profundidad y los cultivos horizontales se encontraban a 7 m, por lo que el movimiento del agua generado por el oleaje, pudo disminuir la capa límite en los cultivos verticales, favoreciendo la captación de nutrientes (Harrison y Hurd, 2001; Hepburn et al, 2007). Por lo tanto, para determinar la razón, se recomienda en estudios posteriores, medir el oleaje y velocidad de la corriente *in situ*, así como realizar observaciones del efecto del oleaje entre los dos tipos de cultivos, además determinar la concentración de nutrientes en el tejido.

8. CONCLUSIONES

Los resultados demuestran que Bahía Santa María, es un sitio apto para desarrollo de las algas pardas *Eisenia arborea* y *Macrocystis piryfera*, además sustentan la factibilidad de desarrollar su maricultivo a escala piloto comercial.

Con respecto a los factores abióticos, el sitio de estudio a profundidades menores a los 11 m, presenta condiciones óptimas de luz ($>17.4 \mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) para esporofitos de *Eisenia arborea* y *Macrocystis piryfera*, desde la etapa temprana como para organismos adultos. La correlación que presentan la temperatura y concentración de nutrientes ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$) indican que a temperatura por debajo de los 17°C , las macroalgas no se verán limitadas por nutrientes, por lo que esta temperatura es el valor crítico y por consiguiente el factor a monitorear durante el desarrollo de los cultivos.

Debido a la mayor capacidad de supervivencia de *Eisenia arborea* vs *Macrocystis piryfera*, se considera un mejor prospecto para el cultivo.

Además que los cultivos deben realizarse a profundidades donde la temperatura no exceda los 17°C o en caso de que así sea, que la duración de estos eventos no se extienda más de 3 semanas, por lo que se propone que la profundidad de cultivo sea entre los 7 a 11 metros de profundidad y que la siembra inicie a partir de mediados de invierno. A partir del verano los epibiontes pueden llegar a ser un problema, ya que afectan el tejido vegetativo de los cultivos. Por lo que con base en los resultados se propone el siguiente calendario de cultivo a dos años para ambas especies, ya que

Eisenia arborea y *Macrocytis piryfera* no alcanzaron su máximo desarrollo, ni mayor potencial de producción vegetativa:

Programa de Cultivo	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Esporulaciones				■	■	■	■									■	■	■	■								
Cultivo <i>in vitro</i>				■	■	■	■									■	■	■	■								
Siembra							■	■	■	■	■								■	■	■	■	■				
Maricultivo							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Monitoreo	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Cosecha <i>E. arborea</i>																									■	■	■
Cosecha <i>M. piryfera</i>										■	■	■	■											■	■	■	■
Artes Cultivo	■	■	■									■	■	■	■									■	■	■	■

9. LITERATURA CITADA

Abbott, I. A. y G. J. Hollenberg, 1976. Marine algae of California. Stanford University Press, Stanford.

Arnold, K. E., 1980. Aspects of the production ecology of marine macrophytes. A dissertation for the degree in PhD. University of California, Irvine. 149 pp.

Buschmann, A.H., Hernández-González, M.C. and Varela, D., 2008 'Seaweed future cultivation in Chile: perspectives and challenges', *Int. J. Environment and Pollution*, Vol. 33, No. 4, pp.432-456.

Callejas-Jimenez, M. E. (2007) Caracterización de *Eisenia arborea* Areschoug, 1876 (Laminariales, Phaeophyta) en tres diferentes sustratos dentro de bahía San Quintín, Baja California, México. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, México.

Camacho-Ibar, V.F., Hernández-Ayón, J.M., Santamaría-del-Angel, E., Daesslé- Heuser, L.W., Zertuche-González, J.A., 2007. Relación de las surgencias con los stocks de carbono en bahía San Quintín, una laguna costera del NW de México. En: Hernández de la Torre, B., Gaxiola-Castro, G. (Eds.), Carbono en ecosistemas acuáticos de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Centro de Investigaciones Científicas y de Educación de Ensenada, pp. 355e370.

Cappuzo, E. y Mckie, T., 2016. Seaweed in the UK and abroad – status, products, limitations, gaps and Cefas role (report FC002I) Centre for Environment, Fisheries & Aquaculture Science.

Casas-Valdez, M., Serviere-Zaragoza, E. y Lluch-Belda, D., 2011. Temporal Changes in the Harvest of the Brown Algae *Macrocystis pyrifera* (Giant Kelp) along the Mexican Pacific Coast, Biomass-Detection, Production and Usage, Dr. Darko Matovic (Ed.)

Celis-Plá, P. y Alveal, K., 2012. Development of *Macrocystis pyrifera* from spores and gametes on artificial substrate. Algal production in a surface culture. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 40 (2), 292-299 pp.

Clendenning, K. A. (1971) Photosynthesis and general development in *Macrocystis*. 169-190 pp. In W. J. North (ed.), *The biology of giant kelp beds (Macrocystis) in California*, Cramer.

Comité Estatal de Sanidad Acuícola e Inocuidad de Baja California A.C. Diagnóstico de situación sanitaria acuícola del estado de Baja California; moluscos bivalvos. SENASICA-SAGARPA.

Correa, T., Gutiérrez, A., Flores, R., Buschmann, A. H., Cornejo, P., & Bucarey, C., 2014. Production and economic assessment of giant kelp *Macrocystis pyrifera* cultivation for abalone feed in the south of Chile. *Aquaculture Research*, 42(3), 698-707.

Chung, I. K., Beardall, J., Mehta, S., Sahoo, D., & Stojkovic, S., 2011. Using marine macroalgae for carbon sequestration: a critical appraisal. *Journal of Applied Phycology*, 23(5), 877-886.

Dayton, P. K. y M. J. Tegner, 1984. Catastrophic storms, el Niño and patch stability in a southern California kelp community. *Science*, 124, 283-285 pp.

- Dayton, P. K., Tegner, M. J., Edwards, P. B. y Riser, K. L., 1999. Temporal and spatial scales of kelp demography; the role of oceanographic climate. *Ecological Monographs*, 69 (2), 219-250 pp.
- Dean, T. A. y F. R. Jacobsen (1984) Growth of juvenile *Macrocystis pyrifera* (Laminariales) in relation to environmental factors. *Marine Biology*, 83, 301-311.
- Dean, T. A. y F. R. Jacobsen (1986) Nutrient-limited growth of juvenile kelp, *Macrocystis pyrifera*, during the 1982-1984 "El Niño" in southern California. *Marine biology*, 90(4), 597-601.
- Edwards, M.S., Estes, J.A. (2006) Catastrophe, recovery and range limitation in NE Pacific kelp forests: a large-scale perspective. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 320, 79-87.
- Edwards, M. y L. Watson, 2011. Cultivating *Laminaria digitata*. *Aquaculture Explained*, 26; 71 pp.
- Flavin, K., Flavin, N. & Flahive, B. (2013) Kelp Farming Manual: A Guide to the processes, techniques and equipment for farming kelp in New England waters. Ocean Approved. 123 pp.
- Foster, M. S. y D. R. Schiel, 1985. The ecology of giant kelp forest in California: a community profile. U. S . Fish Wild. Serv. Biol. Rep. 85 (7.2). 152 pp.
- Gerard, V. (1982) Growth and utilization of internal nitrogen reserves by the giant kelp, *Macrocystis pyrifera*, in a low nitrogen environment. *Mar. Biol.* 74, 213- 218.
- Gutierrez, A., Correa, T., Muñoz, V., Santibañez, R. M., Cáceres, C y Buschmann, A. H. (2006) Farming of the giant kelp *Macrocystis pyrifera* in southern Chile for development of novel food products. *Journal of Applied Phycology*. 18, 259-267 p.
- Guzman del Prío, S. A. (1993) Desarrollo y perspectivas de la explotación de algas marinas en México. *Ciencia Pesquera*, Instituto Nacional de la Pesca. Secretaria de Pesca, México (9): 129-136.
- Harrison, P.J., Hurd, C.L., 2001. Nutrient physiology of seaweeds: application of concepts to aquaculture. *Cah. Biol. Mar.* 42, 71-82.
- Hepburn, C. D., Holborow, J. D., Wing, S. R., Frew, R. D., & Hurd, C. L. (2007). Exposure to waves enhances the growth rate and nitrogen status of the giant kelp *Macrocystis pyrifera*. *Marine Ecology Progress Series*, 339, 99-108.
- Hollenberg, G. J. (1939). Culture studies of marine algae. I. *Eisenia arborea*. *American Journal of Botany*, 34-41.
- Hurd, C. L., Harrison, P. J., & Druehl, L. D. (1996). Effect of seawater velocity on inorganic nitrogen uptake by morphologically distinct forms of *Macrocystis integrifolia* from wave-sheltered and exposed sites. *Marine Biology*, 126(2), 205-214.

Hutchings, L., Pitcher, G.C., Probyn T. A. y Bailey, G. W. (1995) The chemical and biological consequences of coastal upwelling. In *Upwelling in the ocean: Modern processes and ancient records*, ed. C. P. Summerhayes, K.-C. Emeis, M. V. Angel, R.L. Smith and B. Zeitschel, 65-81. Chichester: Wiley.

Hwang, E. K., Gong, Y. G., Hwang, I. K. y Park, E. J. y C. S. Park (2013) Cultivation of the two perennial brown algae *Ecklonia cava* and *E. stolonifera* for abalone feeds in Korea. *Journal of Applied Phycology*; 25 (3), 825-829 pp.

Hwang, E. K., Gong, Y. G., Ha, D. S. y C. S. Park (2010) Nursery and main culture conditions for mass cultivation of the brown alga, *Ecklonia cava* Kjellman. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*; 43 (6), 687-692 pp.

Kerrison, P. D., Stanley, M. S., Edwards, M. D., Black, K. D. y A. D. Hughes 2015. The cultivation of European kelp for bioenergy: Site and species selection. *Biomass and Bioenergy*, 80, 229-242.

Kirk, J. T. (1994) *Light and photosynthesis in aquatic ecosystems*. Cambridge university press.

Ladah, L.B., Bermudez, R., Pearson, G., y E. Serrão (2003) Fertilization success and recruitment of dioecious and hermaphroditic fucoid seaweeds with contrasting distributions near their southern limit. *Marine Ecology Progress Series*, 262, 173-183.

Ladah, L.B. & Zertuche-Gonzalez, J.A. (2004) Giant kelp (*Macrocystis pyrifera*) survival in deep water (25-40 m) during El Nino of 1997-1998 in Baja California, Mexico. *Botanica Marina* 47: 367-372.

Ladah, L. B., Zertuche-González, J. A. y G. Hernández-Carmona (1999) Giant kelp (*Macrocystis pyrifera*, phaeophyceae) recruitment near its southern limit in Baja California after mass disappearance during ENSO 1997-1998. *Journal of Phycology*, 35: 1106-1112.

Liang, J., Pan, W.S.Y. y Yang, Z. (2004) Characterization-based Q-Q plots for testing multinormality. *Statistics & Probability Letters*, 183-190.

Macchiavello, J., Araya, E. y Bulboa, C. (2010) Production of *Macrocystis pyrifera* (Laminariales; Phaeophyceae) in northern Chile on spore-based culture. *Journal of Applied Phycology*. 22, 691-697 p.

Matson P. G. y M. S. Edwards, 2007. Effects of ocean temperature on the southern range limits of two understory kelps, *Pterygophora californica* and *Eisenia arborea*, at multiple life-stages. *Marine Biology*, 152: 1941-1949.

Mazarrasa, I., Olsen, Y. S., Mayol, E., Marbà, N., & Duarte, C. M. (2014). Global unbalance in seaweed production, research effort and biotechnology markets. *Biotechnology advances*, 32(5), 1028-1036.

Merrill, J. E., & Gillingham, D. M. (1991). *Bull kelp cultivation handbook*. National Oceanic and Atmospheric Administration, US Department of Commerce.

Neushul, M. (1963). Studies on the giant kelp, *Macrocystis*. II. Reproduction. *American Journal of Botany*, 354-359.

- North, W. J., 1983. Culturing and utilization of large brown seaweeds (kelps). In *OCEANS'83, Proceedings* (pp. 884-889). IEEE.
- Pacheco-Ruíz, I., J.A. Zertuche-González, A. Chee-Barragán and E. Arroyo-Ortega. 2002. Biomass and potential comercial utilization of *Ulva lactuca* (Chlorophyta, Ulvaceae) beds along the north-west coast of the Gulf of California. *Phycologia*. 41(2): 199-201.
- Perissinotto, R. y C. D. McQuaid, 1992. Deep occurrence of the giant kelp *Macrocystis laevis* in the Southern Ocean. *Marine Ecology Prograss Series*, 81: 89-95.
- Rebours, E., Marinho-Soriano, E., Zertuche-González, J.A., Hayashi, L., Vásquez, J.A., Kradolfer, P. et al. (2014) Seaweeds: an opportunity for wealth and sustainable livelihood for coastal communities. *Journal of Applied Ecology*, 26, 1939-1951.
- Redmond, S., L. Green, C. Yarish, J. Kim, and C. Neefus. 2014. *New England Seaweed Culture Handbook-Nursery Systems*. Connecticut Sea Grant CTSG-14-01. 92 pp.
- Rothman, M. D., Mattio, L., Wernberg, T., Anderson, R. J., Uwai, S., Mohring, M. B. y J. J. Bolton, 2015. A molecular investigation of the genus *Ecklonia* (Phaeophyceae, Laminariales) with special focus on the Southern Hemisphere. *Journal of phycology*, 51(2), 236-246.
- Sánchez Barredo, M., L. B. Ladah y J. A. Zertuche González. (2011) Nitrate uptake and duration of internal nitrogen reserves in the kelp *Eisenia arborea*. *Botánica Marina*. 54(5): 441-446 p.
- Sánchez Medina, R (2008) Descripción de la historia de vida y desarrollo de *Eisenia arborea* Areschoug, 1879) y su capacidad de recuperación bajo condiciones de laboratorio. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, México.
- Saunders, De A., 1901. Papers from the Harriman Alaska Expedition XXV. The algae. *Proceedings of the Washington Academy of Sciences* 3: 391-486, 19 pls.
- Stekoll, M.S. y P.V. Else. 1990. Cultivation of *Macrocystis integrifolia* (Laminariales, Phaeophyta) in southeastern Alaskan waters. *Hydrobiologia* 204/205: 445-451.
- Tegner M. J. y P. K. Dayton, 1987. El Niño effects on southern California kelp forest communities. *Advances in Ecological Research*, 17, 243-279.
- Vásquez, J. A., Zuñiga, S., Tala, F., Piaget, N., Rodríguez, D. C., & Vega, J. A. (2014). Economic valuation of kelp forests in northern Chile: values of goods and services of the ecosystem. *Journal of applied phycology*, 26(2), 1081-1088.
- Westermeier, R., Patiño, D., Piel, M.I., Maier, I. y Mueller, D.G., 2006. A new approach to kelp mariculture in Chile: production of free-floating sporophyte seedling from gameto-phyte culture of *Lessonia trabeculata* and *Macrocystis pyrifera*. *Aquac. Res.* 37, 164-171.
- Zemke-White, W. L., y M. Ohno (1999) World seaweed utilisation: an end-of-century summary. *Journal of Applied Phycology*, 11(4), 369-376.
- Zertuche-González, J.A. 2013. Aprovechamiento de las macroalgas marinas en México; Estado Actual y retos futuros. *Memorias del VIII Congreso Nacional de Ficología*. UNAM-Iztacala. 15-18 Octubre, 2013. Pp 5-11.

Zertuche-González J.A., D. Craig Barilotti, J.M. Guzmán-Calderón, Z. Altamirano-Gómez, M. Sánchez-Barredo y Pacheco-Ruiz I., 2014a. Site evaluation and the development of methods for farming *Macrocystis pyrifera* off the Pacific coast of Baja California. 53rd Northeast Algal Symposium. Newport, Rhode Island, USA. 25-27 abril, 2014 (ABSTRACT)

Zertuche-González, J.A. & J. García-Esquivel. 1994. Cultivo del alga *Gracilaria* en México. Programa Cooperativo Gubernamental FAO-ITALIA. Proyecto AQUILA II. Documento de Campo No. 13: 47-54 pp.

Zertuche-González, J.A., Sánchez-Barredo, M., Guzmán-Calderón, y Altamirano-Gómez, Z. (2014b) *Eisenia arborea* J.E. Areschoug as abalone diet on an IMTA farm in Baja California, México. *Journal of Applied Phycology* (26)2: 957-960 pp.

Zimmerman, R. C., y J. N. Kremer (1984) Episodic nutrient supply to a kelp forest ecosystem in Southern California. *Journal of Marine Research*, 42(3), 591-604.

Zimmerman, R. C., y J. N. Kremer (1986) In situ growth and chemical composition of the giant kelp, *Macrocystis pyrifera*: response to temporal changes in ambient nutrient availability. *Marine Ecology Progress Series*, 277-285.

Zimmerman, R. C. y D. L. Roberson (1985) Effects of El Niño on local hydrography and growth of the giant kelp, *Macrocystis pyrifera*, at Santa Catalina Island, California'. *Limnology and Oceanography* 30, 1298-1302 pp.

9.1. PÁGINAS DE INTERNET

<http://www.pfeg.noaa.gov> (consultada en diciembre del 2016).

http://www.algalab.com/gal_ciclo/index.html (consultada en diciembre del 2016).

10. ANEXOS

10.1. FAUNA ASOCIADA A LOS CULTIVOS

La fauna asociada más recurrente en los cultivos consistió en cangrejos sargaceros del sur (*Taliepus nuttallii*), estos cangrejos son hervivoros, no fue posible evaluar su efecto sobre los cultivos (Figura 36). Sin embargo, en el monitoreo de marzo del 2016, se observaron algas aparentemente pastoreadas (Figura 37). Los epibiontes mas comunes fueron el hidrozooario incrustante *Membraniphora sp.* y el detritivoro *Caprellido sp.*



Figura 36.- Cangrejos sargaceros del sur (*Taliepus nuttallii*); macho (A) y hembra (B), ambos colectados en cultivos.

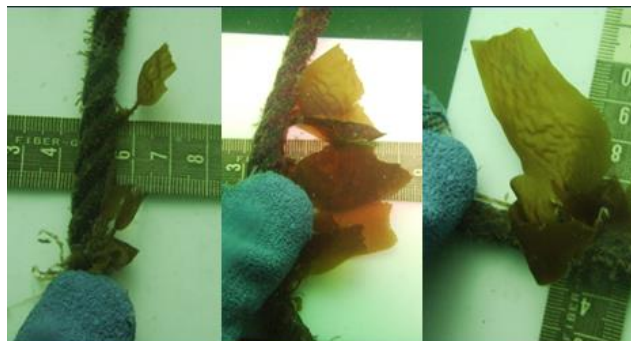


Figura 37.- Algas observadas en el monitoreo de marzo del 2016, aparentemente pastoreadas.

10.2. SERIE DE TIEMPO DE LA TEMPERATURA

Base de datos del laboratorio de macroalgas en Bahía Santa María, en San Quintín, B. C., monitoreo de la temperatura a diferentes profundidades, durante el periodo noviembre del 2012 a noviembre del 2016 (Figura 38).

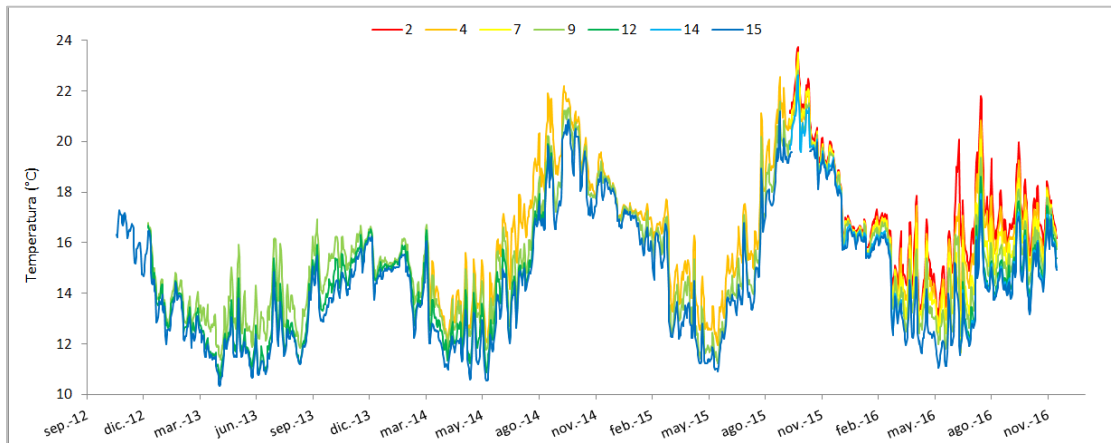


Figura 38.- Serie de tiempo de la temperatura en Bahía Santa María, B. C., México.