



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR

ÁREA DE CONOCIMIENTO DE CIENCIAS DEL MAR

DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE BIOLOGÍA MARINA

VARIACIÓN DE BIOMASA Y DATOS REPRODUCTIVOS DE *ACANTHOPHORA SPICIFERA* (CERAMIALES: RHODOPHYTA) EN LA PLAYA PUNTA ROCA CAIMANCITO DE LA BAHÍA DE LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO MARINO

PRESENTA

VALERIE CHANTAL GABRIELLE SCHNOLLER

LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR, MARZO DEL 2011

RESUMEN

Acanthophora spicifera es un alga roja, nativa del Caribe, se introdujo en el archipiélago de Hawái en los años 1950's, en donde se catalogo como invasora. Su éxito como invasora es atribuido a que tiene la capacidad de reproducirse tanto sexualmente como vegetativamente por fragmentación o por esporas. Su crecimiento es acelerado e invade a los arrecifes coralinos del Pacífico. Impide que los nutrientes y la luz solar penetren a estos ecosistemas produciendo que disminuyan las poblaciones de algas marinas residentes y de corales. En la playa punta roca Caimancito, B.C.S., se encontró un manto de *A. spicifera*, donde antes predominaba el alga café del género *Sargassum*. La temperatura a la cual se desarrolla en Punta Roca Caimancito fue de entre 20-29. Puede encontrarse creciendo sobre una gran variedad de sustratos duro roca epilítica, coral muerto o conchas, incluso como epifita sobre otras especies de macroalgas o sobre invertebrados epizoica. Presentan un crecimiento simpodial y apical, presenta ramificaciones secundarias, tiene una textura rugosa o áspera, posee un sujetador discoidal, en su eje principal no presenta espinas. Se caracteriza por ser un talo muy ramificado así como arbustivo y frondoso. Meristemo apical. Espinas de 3 mm, las cuales pueden variar morfológicamente. En un corte transversal se observo que las células pericentrales son densas y corticadas. Las células axiales comúnmente en el centro. En el área de estudio esta alga invasora se reproduce por vía asexual (fragmentación). La extensión del manto en Punta Roca Caimancito de ha continuado incrementándose desde el año 2006 en que se registro por primera vez. La extensión actual (2009) es de 31,536.93 m² ó 3.16 hectáreas. El promedio máximo de biomasa en peso seco fue de 8.12 Ton/ 3.16 ha y el mínimo de 1.18 Ton/ 3.16 h. La coloración va de marrón a roja. El promedio de la longitud de los talos fue de 163 mm el máximo y 108 mm el mínimo en el periodo de octubre 2008 a octubre 2009. El promedio anual fue de 154 mm. El ANDEVA muestra diferencias entre los meses siendo Octubre diferente de los demás por presentar la mayor longitud en esa temporada. El número de ramificaciones como valor máximo fue de 7 y un mínimo de 5 ramificaciones por talo. El ANDEVA realizado para el número de ramificaciones no muestra diferencias significativas. El promedio mensual de el número de espinas presenta un valor máximo de 5.4 mm² y la mínima de 3.9 mm². El ANDEVA muestra diferencias por mes, siendo Octubre el que presenta el mayor número de espinas. La biomasa es mayor en la estación de otoño. Y en invierno disminuye drásticamente la población. El promedio de la biomasa mayor es de 0.26 kg/m² y se presento en noviembre, el mínimo de la biomasa en peso seco se presento en febrero 0.0375 kg/m². El promedio anual de la biomasa en peso seco es de 0.29 kg/m². La flora y fauna que estaba asociada a *A. spicifera* va desde algas epifitas moluscos, equinodermos, esponjas hasta peces. El promedio mensual máximo fue de 0.20 kg/m² y el mínimo de 0.031 kg/m². El resultado de la Correlación indica que no hay relación entre la biomasa y flora-fauna (r=-0.1892.). Se concluye que *A. spicifera* cumple su desarrollo a temperaturas que van desde 20-29°C. Los caracteres morfológicos que presenta *A. spicifera* de Punta Roca Caimancito son similares a los registrados por otros autores. El principal modo de reproducción de *A. spicifera* es por vía asexual a través de la fragmentación y se presenta todo el año (perene). La reproducción sexual estuvo limitada en primavera-verano, solo se observaron los conceptaculos vacios. Presenta mayores longitudes durante otoño y menores durante el invierno. El número de espinas no está relacionado con la longitud de la rama. El número máximo de ramificaciones fue de 7 en otoño e invierno y el mínimo de 4 ramificaciones por talo en verano. El número de espinas máximo fue de 5.4 espinas por mm⁻² y el mínimo fue de 3.9 espinas mm⁻². El porcentaje de biomasa en peso húmedo de *A. spicifera* es mayor en otoño con 3.50 kg/m² y el menor fue en invierno con 0.59 kg/m². El porcentaje de biomasa en peso seco de *A. spicifera* es mayor en otoño con 0.86 kg/m² y el menor fue en invierno con 0.0375 kg/m². El impacto de *A. spicifera* en Punta Roca Caimancito es negativo para los arrecifes coralinos ya que las altas densidades de esta alga pueden afectar la captación de luz y nutrientes y por lo tanto afectar su crecimiento.



UABCS

ÁREA DE CONOCIMIENTO DE CIENCIAS DEL MAR
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE BIOLOGÍA MARINA



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR
comprometidos con la comunidad

Fecha: 2 Febrero 2011

B.M. MARCO ANTONIO MEDINA LÓPEZ,
JEFE DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO
DE BIOLOGÍA MARINA,
PRESENTE.

Los abajo firmantes comunicamos a usted, que habiendo revisado el trabajo de tesis terminado que realizó el (la) pasante de Biólogo Marino **C. VALERIE CHANTAL GABRIELLE SCHNOLLER**, con el Título: "VARIACIÓN DE BIOMASA Y DATOS REPRODUCTIVOS DE *Acanthophora spicifera* (Cerámiales: Rhodophyta) EN LA PLAYA PUNTA ROCA CAIMANCITO DE LA BAHÍA DE LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO"; otorgamos nuestro voto aprobatorio y consideramos que dicho trabajo está listo para su defensa a fin de obtener el título de Biólogo Marino.

Dr. Rafael Riosmena L.
Nombre Completo

[Firma]
Firma

PRESIDENTE

Dr. Enrique Avila Torres
Nombre Completo

[Firma]
Firma

SECRETARIO

Dr. Juan Manuel López Vivas
Nombre Completo

[Firma]
Firma

VOCAL

Dr. Juan Manuel López Vivas
Nombre Completo

[Firma]
Firma

DIRECTOR DE TESIS

C.c.p. Dirección de Servicios Escolares.
C.c.p. Interesado
C.c.p. Archivo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR
RECIBIDO
03 FEB 2011
DEPTO. DE BIOLOGIA MARINA
FIRMA _____ HORA _____

Carretera al Sur Km. 5.5
La Paz, BCS.

Tel. Directo: 01 (612) 123-88-43
Conmutador: 12 388 00 Ext. 4000
Fax Directo: 01 (612) 12 388 19
E-mail: biolmar@uabcs.mx

Apartado postal 19-B
Código postal 23080

DEDICATORIA

**A mi madre querida,
Gracias por enseñarme que siempre se tiene que luchar por lo que se quiere en la
vida. Te admiro mucho mama. Sin tu apoyo nada de esto se hubiera logrado.**

**Y a Oscar Arturo Gutierrez Pineda.†
Va por ti Oscar☺.**

*Nuestra recompensa se encuentra en el
esfuerzo y no en el resultado. Un esfuerzo
total es una victoria completa.*

Mahatma Gandhi



AGREDECIMIENTOS

AGRADEZCO PRINCIPALMENTE A MI DIRECTOR DE TESIS EL DR. JUAN MANUEL LÓPEZ VIVAS

AL PROYECTO-PROGRAMA DIAGNOSTICO Y ESTADO DE CONSERVACIÓN DE MACROALGAS Y PASTOS MARINOS PARA EL GOLFO DE CALIFORNIA.

A MIS REVISORES: DR. RAFAEL RIOSMENA, DR. ENRIQUE ÁVILA TORRES, RODRÍGUEZ, ©DR. JORGE LÓPEZ CALDERÓN Y POR ÚLTIMO A LA M. EN C. GABRIELA ANDRADE SORCIA.

Y A TODOS LOS COMPAÑEROS (AS) DEL LABORATORIO DE BOTÁNICA MARINA QUE PERTENECEN Y PERTENECIERON A ESTE.

A MIS QUERIDÍSIMOS MAESTROS: M. EN C SALOMÓN ÁLVAREZ, DR. DARIEL TOVAR RAMÍREZ, M. EN C. RODOLFO MORENO GARAY, DR. RENATO PEÑA MARTÍNEZ, M. EN C. ALEJANDRO GÓMEZ GALLARDO, M. EN C ENRIQUE GONZALES, DR. ROBERTO CARMONA, DRA LILIANA HERNÁNDEZ OLALDE. DR. VOLKER KOCH. DRA. LITZIA PAUL CHAVEZ.

Y A TODOS MIS AMIGOS Y AMIGAS, QUE ESTUVIERON CON MIGO EN LAS BUENAS Y EN LAS MALAS (LA VERDAD QUE ES MUY LARGA LA LISTA PERO CADA UNO DE ELLOS SABEN QUE LOS QUIERO)

GRACIAS TOTALES !!

ÍNDICE	
RESUMEN.....	I
VOTOS APROBATORIOS.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
ÍNDICE.....	V
GLOSARIO.....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE TABLAS.....	XI
LISTA DE TABLAS DE ANEXOS.....	XI
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.....	9
III. JUSTIFICACIÓN.....	12
IV. OBJETIVO GENERAL.....	13
V. OBJETIVOS PARTICULARES.....	13
VI. ÁREA DE ESTUDIO.....	13
VII. MATERIAL Y MÉTODOS.....	17
VIII. RESULTADOS.....	19
IX. DISCUSIÓN.....	37
X. CONCLUSIÓN.....	42

XI. RECOMENDACIÓN.....	44
XII. BIBLIOGRAFÍA.....	46
XIII. ANEXOS	52

GLOSARIO

Alga= División superior del reino vegetal que comprende a las plantas fotosintéticas simples, sin raíces, tallo y hojas, que carecen de tejidos especializados conductores de agua como las plantas superiores; con un cuerpo unicelular, colonial filamentosa o taloide. Son acuáticos, marinos o de agua dulce o se encuentran en hábitat húmedos sobre tierra.

Apical= Extremo, punta o parte terminal situada en el ápice.

Célula axial= se encuentran en el centro, también se les llama células de soporte.

Célula medular= Tejidos o estructuras situadas en el centro de un talo o de una alga.

Célula pericentral= células que rodean a una o varias células axiales o un eje longitudinal.

Cistocarpo= Comprende el carposporofito y cualquier cubierta o pericarpo que lo proteja.

Discoidal= Forma de disco, refiriéndose a un órgano de fijación.

Epifito=Alga o planta que crece sobre la superficie de otra planta.

Epizoica= Crece sobre la superficie externa de un animal.

Epilitica= Alga o planta que crece o se desarrolla fijada sobre rocas.

Especimen= Individuo o parte de un individuo que se toma como muestra, especialmente el que se considera representativo de los caracteres de la población a la que pertenece.

Espermatangio= Célula que produce un solo espermacio o gameto masculino sin flagelo.

Estolon= Ramificaciones delgadas y horizontales que presentan en la base de las plantas pudiendo dar origen a nuevos vástagos en el extremo del estolón cuando hace contacto con el suelo, normalmente se extiende sobre el sustrato.

Fragmentación=Forma de reproducción asexual. Consiste en la escisión del cuerpo en dos o más piezas que se convierten en organismos completos.

Gametofitos= Planta productora de gametos.

Macroalga= Planta fotosintética, no vascular, sin raíces y que presenta estructuras reproductoras simples.

Meristemo= Célula o grupo o región de células y tejidos que sus células crecen y se multiplican; son células de pared delgada por lo común no muy largas.

Ramificación= División del eje principal, para formar ramas o divisiones secundarias o terciarias. Pueden ramificarse desde simples filamentos celulares hasta de todo tipo de talos.

Ramificación primaria= son aquellas que emergen inmediatamente del eje principal del talo.

Ramificación secundaria= Se origina a partir de una rama de primer orden.

Rhodophycophyta= Phylum de las algas, llamadas algas rojas, nunca presentan flagelos, con ficoeritrina enmascarando a la clorofila y como producto de reserva, el almidón florídeo y el floridósido.

Rizoide= Estructura de fijación única, multicelular filamentosa, generalmente incolora más pequeña que un órgano de fijación.

Reproducción asexual= En este tipo de reproducción no interviene la unión sexual de dos individuos, sino que por fisión, fragmentación, formación de esporas, gemación y formación de gémulas.

Reproducción sexual= Cualquier tipo de reproducción que implica fusión de gametos para formar un cigoto.

Salinidad= Es el valor dimensionado para propósitos de verificación del agua. Puede considerarse como una estimación de la concentración, en gramos por kilogramo, de sales disueltas en el agua de mar.

Simpodial= Ramificación primaria con un método de desarrollo en que el ápice principal es regular y sucesivamente reemplazado; por una ramificación inferior, que entonces asume el eje principal por un tiempo, hasta que después también es reemplazada; así pues el eje principal no se extiende de continuo desde el órgano de fijación hasta el ápice.

Talo= Unidad estructural de una macroalga compuesta de tres regiones potenciales (sujetador, estipe y fronda), integrado por células totipotenciales que no forman tejidos verdaderos.

Tricoblastos= Célula epidérmica que origina un filamento como pelo radicular que puede ser incoloro, simple o ramificado.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Figura 1. a)** Imagen de la península de Baja California donde se ubica la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México **b)** Playa Punta Roca Caimancito que se encuentra entre El Coromuel (1) y playa Costa Baja (2), **c)** ubicación del área de estudio, Playa Punta Roca Caimancito, **TP1)** Transecto Paralelo a la línea de Costa, **TP2)** Transecto Perpendicular a la línea de Costa.....**15**
- Figura 2.** Manto de *Acanthophora spicifera* en la Playa Punta Roca Caimancito, B.C.S.....**16**
- Figura 3.** Variación estacional de la temperatura (°C) y la salinidad en Punta Roca Caimancito.....**19**
- Figura 4. .** Manto de *A.spicifera* en Punta roca Caimancito a través del tiempo. En **a** y **b)** se puede observar que el manto presentaba una menor densidad de algas en 2004 y 2005 En 2006 (**c)** se observó por primera vez *A.spicifera* en Punta Roca Caimancito. En **d)** se observa cómo ha aumentado el manto en el último año de muestreo en Punta Roca Caimancito.....**21**
- Figura 5.** Biomasa total del manto de *A. spicifera* en Punta Roca Caimancito en peso húmedo (azul) y peso seco (rojo)**23**
- Figura 6.** Especímenes de *A. spicifera* creciendo sobre diferentes tipos de sustrato (coral, algas y esponjas).....**24**
- Figura 7.** Características anatómicas del talo de *A. spicifera* en Punta Roca Caimancito B.C.S. Se distinguen diferentes tonos de coloración; **a)** espécimen de color rojo, **b)** espécimen de color marrón. **c)** proliferación de frondas juveniles en la parte baja de los estolones (flecha negra).....**26**
- Figura 8. a)** Morfología de las espinas. **b)** Células de crecimiento meristemal en la zona apical de *A. spicifera*.....**27**
- Figura 9. a)** Corte transversal de la célula medular de soporte del talo de *A. spicifera*, **b)** células pericentrales, (flecha roja) **c)** células axiales o de soporte...**28**
- Figura 10.** Célula pericentral de *A. spicifera*. en la parte apical del talo**29**
- Figura 11. a)** Las flechas nos muestran la zona de crecimiento simpodial del gametofito femenino. **b)** Cistocarpo maduro. **c)** Estructura del gametofito masculino. **d)** Acercamiento del espermatangio en donde se observan los tricoblastos, del talo de *A. spicifera* (flechas negras).....**30**

Figura 12. Longitud promedio mensual de los talos de <i>A. spicifera</i> en Punta Roca Caimancito.....	31
Figura 13. Variabilidad estacional en el número promedio de ramificaciones por talo en <i>A.spicifera</i> en Punta Roca Caimancito.....	32
Figura 14. Número de espina por mm ² de los talos de <i>A. spicifera</i> de punta roca Caimancito.....	33
Figura 15. Variabilidad estacional en la biomasa húmeda de <i>Acanthophora spicifera</i> por metro cuadrado y por hectárea en Punta Roca Caimancito.....	34
Figura 16. Variación estacional de la biomasa en peso seco de <i>Acanthophora spicifera</i> por metro cuadrado y por hectárea total en Punta Roca Caimancito.....	35
Figura 17. Peso mensual de la flora y fauna total asociada al manto de <i>A. spicifera</i> de Punta Roca Caimancito.....	36
Figura 18. “Super Sucker” Aspiradora de algas invasivas en los arrecifes coralinos de Hawái.....	45
Figura 19. Historia de vida de <i>Acanthophora spicifera</i>	55

LISTA DE TABLAS

Tabla I. Algas asociadas a *A.spicifera* en punta roca Caimancito.....**22**

LISTA DE TABLAS DE ANEXOS

Tabla II. ANDEVA de Longitud promedio mensual de los talos de *A. spira*.....**52**

Tabla III. ANDEVA del número promedio de ramificaciones por talo de *A. spicifera*.....**52**

Tabla IV. ANDEVA de número de espina por mm² de los talos de *A. spicifera*.....**52**

Tabla V. Peso humedo mensual en g/cm² de *A. sicifera*, datos estrapolados al area que cubre el manto (3.16 ha).....**53**

Tabla V. Peso seco mensual en g/cm² de *A. sicifera*, datos estrapolados al area que cubre el manto (3.16 ha).....**53**

Tabla VI. ANDEVA peso seco mensual de *A. sicifera*.....**53**

Tabla VII. Peso seco de la flora y fauna mensual en g/cm² de *A. sicifera*, datos estrapolados al área que cubre el manto (3.16 ha).....**53**

I. INTRODUCCIÓN

Las especies invasoras juegan un papel muy importante dentro de los ecosistemas marinos y terrestres, ya que dañan a las especies nativas y las desplazan. Dentro de este tema se manejan diferentes definiciones que hay que comprender, la primera es *naturalizado*, se refiere a las especies no nativas que se establecieron en la región. La segunda definición es la de *invasión* que se ha utilizado para la especie que se ha naturalizado y se ha diseminado ampliamente en su región. Y por último y la más importante *especies invasoras* se refiere a cualquier especie que este ocupando una region en la que no estuvo presente historicamente (Sax *et al.*, 2005).

Las especies invasoras siempre han tenido una polémica alrededor del mundo, ya que como su nombre lo dice, invaden regiones y afectan a los organismos nativos. Esto se da tanto en la tierra como en el ambiente marino. Dentro del ambiente marino se han estudiado especies invasoras en gran parte de los Oceanos del mundo (Carlton *et al.*, 1990; Shiganova, 1998; Godwin, 2003; Work *et al.*, 2003).

IMPACTO ECONÓMICO Y ECOLÓGICO DE LAS ESPECIES MARINAS INVASORAS

Las alteraciones de los ecosistemas ocasionadas por el cambio climático global junto con las especies introducidas son el resultado de la homogenización biótica, esto es un proceso por el cual en los ecosistemas predominan especies dominantes y oportunistas. Este patrón siempre ha sido observado en localidades afectadas por la degradación del medio ambiente y por especies invasoras (FAO, 2010).

El impacto ecológico de los grupos marinos no residenciales que se ha observado en algunos ecosistemas como en la Bahía de San Francisco sobre la Almeja Asiática *Potamocorbula amurensis* Schrenck, 1861, la cual se descubrió en el año 1980 en el norte

de América, se caracteriza por ser una especie invasora que ha colonizado masas de agua dulce en numerosos países de Europa y América. Ésta produce grandes problemas ambientales y económicos ya que tiene una gran capacidad para reproducirse. Se han hecho estudios en Portugal donde dicen que esta almeja secuestra el carbono y altera el cauce y funcionamiento del ecosistema, asimismo presenta riesgos de mortandad masiva por los cambios bruscos en la temperatura (Carlton *et al.*, 1990; Godwin, 2003).

Otra especie invasora como la medusa *Mnemiopsis leidyi*, A. Agassiz 1865, en el Mar Negro, se alimenta de huevos y larvas de peces y ha producido una caída en las poblaciones de peces de importancia económica (Shiganova, 1998).

Dentro de los vertebrados, el pez *Lutjanus kasmira* Forsskål, 1775, es un pez invasor desde los 1950's en las islas Marquesas que pertenecen a las Polinesias Francesas. Su introducción fue intencional y perjudicó a los peces arrecifales nativos (Work *et al.*, 2003; Godwin, 2003).

Por último la estrella de mar *Asterias amurensis* Djakonov, 1950, se descubrió en el año de 1980 en Tasmania, Victoria y al sur de Australia. *A. amurensis* tiene el potencial de crear grandes poblaciones en nuevas áreas. Es una amenaza y es considerada una plaga ya que ocasionó el declive del Pez Mano que pertenece a la Familia Brachionichthyidae. Asimismo, en maricultura principalmente ha producido estragos en los cultivos de mejillones, ostras y salmón (Godwin, 2003; Dommissé *et al.*, 2004).

IMPACTO EN LOS ARRECIFES CORALINOS

Los arrecifes coralinos son un ecosistema muy importante ya que forma parte del hábitat de muchos organismos y es uno de los más productivos del planeta. Estos ecosistemas pueden estar compuestos por franjas arrecifales, barreras, parches o atolones. Los arrecifes coralinos son un potencial de atracción para los turistas y son importantes porque forman una protección natural e impiden la erosión que producen las olas en las costas. El valor económico de los arrecifes es considerable. Por ejemplo, en Indonesia la contribución anual de estos ecosistemas por el turismo es de 191 millones de dólares, por pesca 221 millones de dólares y en la salud 4.8 millones de dólares, lo que hace un total anual de 327 millones de dólares. Asimismo, en Hawái la industria pesquera en este tipo de ecosistemas genera 2.5 millones anuales, el turismo 304 millones de dólares, y el valor de la biodiversidad es de alrededor de 17 millones de dólares. Por lo tanto, los ecosistemas coralinos generan en esta región un total anual de 363.5 millones de dólares (Cesar *et al.*, 2004).

Actualmente, los arrecifes coralinos se están agotando rápidamente en muchos lugares del mundo debido a factores como la pesca ilegal, la extracción del coral, la contaminación marina y la sedimentación. Otro aspecto importante que afecta a los arrecifes son las especies invasoras, como es el caso del alga roja *Acanthophora spicifera* (M.Vahl) Børgesen 1910, ésta al igual que los otros aspectos mencionados contribuye al deterioro de los ecosistemas coralinos donde ha invadido. Uno de los efectos de *A. spicifera* en los arrecifes coralinos es que compite por luz y nutrientes con los corales y algas asociadas. Por otro lado, la contaminación industrial (por agroquímicos y desechos industriales) es un factor antropogénico que también contribuye en el deterioro los arrecifes coralinos (Cesar, 2002).

IMPORTANCIA ECONÓMICA

Actualmente se ha reconocido que la biodiversidad y los recursos marinos del mundo están amenazados por influencia de las actividades humanas. En particular, la sobrepesca y los cambios climáticos han producido una alteración y destrucción del hábitat. Las algas invasivas cada vez son más populares ya que a menudo presentan efectos dramáticos en la estructura y función del ecosistema (Schaffelke *et al.*, 2007). A nivel global se conocen aproximadamente 221 especies de algas de importancia comercial, de las cuales 145 se utilizan para uso alimenticio, 110 para producción de ficocoloides (agar, carragenos, ácidos, alginicos). Algunas algas se utilizan solamente para fuente de alimento directo y éstas son *Ulva* Linnaeus, 1753, *Caulerpa*, J.V. Lamouroux, 1809, *Codium* Stackhouse, 1797, *Porphyra* C.Agardh, 1824, *Laminaria* J.V. Lamouroux, 1813 y *Undaria* Suringar, 1873 (Khan *et al.*, 2003).

En países como Japón, China, Chile, Indonesia, Estados Unidos también se han utilizado para estudios farmacéuticos o de nutrición. En este caso, las sustancias químicas extraídas de las algas se emplean para tratar enfermedades. En tanto con la nutrición, se utilizan como suplemento alimenticio y como parte de la dieta de muchos organismos. También se extraen aditivos para alimentos como son carragenos, agar y alginatos (ficocoloides) estos son de los usos más tradicionales de las algas. El alga roja *Digenea* C. Agardh, 1822, produce un ácido derivado del ácido glutámico, que se emplea como estimulante del sistema nervioso central, prototipo del aminoácido neuroexcitación que se utiliza en animales en experimentación. Otras algas rojas como *Ptilota* C. Agardh, 1817 producen una proteína llamada lecitina. *Asparagopsis* Montagne in Barrer- Webb &

Berthelot, 1840 y *Sarconema* Zanardini, 1858, son usadas para controlar el bocio es decir la falta de yodo (Khan *et al.*, 2003).

La producción de algas marinas presenta un aumento en los últimos veinte años y ha reflejado un incremento global en el comercio y las actividades económicas. Esta producción se da actualmente en 35 países entre los cuales podemos encontrar a Corea del Norte, Corea del Sur, Japón, China, Chile, Indonesia, Estados Unidos e India. Estos países generan el 95% de la producción mundial de las algas y el 90% de la producción proviene de cultivos. Las ganancias anuales por la producción de algas a nivel global se estiman entre \$5.5 y 6 billones de dólares. El total de los productos consumidos por el humano es de \$5 billones de dólares. Anualmente se obtiene una producción de 7.5 a 8 millones de ton de peso húmedo, ya sea de algas extraídas del medio natural y cultivado (Pickering, *et al.*, 2007; Schaffelke *et al.*, 2007). Las algas café son las que más se cultivan con más de 5 millones de ton, mientras que de las algas rojas se producen aproximadamente 1 millón de ton anuales, y por último las algas verdes con aproximadamente 33,700 ton anuales. El alga más cultivada es el kelp *Laminaria japonica* J.E. Areschoug, 1851, la producción de esta alga constituye el 60% del total, el resto es para *Porphyra*, *kappaphycus* Doty, 1988, *Undaria* Suringar, 1873, *Eucheuma* J. Agardh, 1847 y *Gracilaria* Greville, 1830. *Porphyra* es una de las más cultivadas en China y su producción genera \$1.8 billones de dólares anuales (Mumford *et al.*, 1988). Filipinas contribuye cerca del 80% de la producción de *Eucheuma cottoniicon* Weber-van Bosse, 1913 lo cual equivale a 130,000 ton anuales (Khan *et al.*, 2003). Khan *et al.*, 2003 menciona que entre los años 1981 y 2000 la producción de plantas acuáticas se incrementó de 3.2 millones de ton a 10.1 millones de ton de peso húmedo. Para el año 2000 el comercio mundial de algas dejó una derrama

económica de 6 billones de dólares, mientras que en 1990 fue de sólo 250 millones de dólares (Khan *et al.*, 2003; Valentine *et al.*, 2003).

ALGAS INTRODUCIDAS

La evaluación de los impactos ecológicos de las especies invasoras ha sido reconocida como una investigación prioritaria en estos últimos años (Johnson, *et al* 2007). El impacto de las algas invasoras se ha identificado como uno de los principales factores de estrés en los ecosistemas costeros. Un estudio reciente hecho en Hawái confirmó que el impacto económico de las especies invasoras va arriba de los \$30 millones de dólares por año (Schaffelke, 2007). Sin embargo, son relativamente pocos los estudios sobre el impacto de las algas invasoras con relación a los animales marinos (Johnson *et al.*, 2007).

Actualmente se han registrado más de 260 especies de algas introducidas. La actual clave de los impactos de algas invasoras se ha esparcido hasta por otros grupos taxonómicos. Se cree que las algas invasoras son potencialmente destructivas y que puede producir un impacto potencialmente grave, ya que pueden alterar la estructura del ecosistema por monopolizar el espacio. Particularmente la preocupación es su rápida propagación es decir la dispersión eficaz, junto con importantes consecuencias ambientales y económicas (Schaffelke, 2007).

Los impactos documentados de algas invasoras son realmente pocos. Como es el caso de *Caulerpa taxifolia* (M. Vahl) C. Agardh, 1817, esta alga se documentó como invasora desde 1980 en el Mediterráneo. *C. taxifolia* fue introducida en el Mediterráneo por medio del agua residual proveniente del Museo Oceanográfico de Mónaco donde era cultivada con fines de acuariofilia. Actualmente cubre más de 13,000 hectáreas de lecho marino en esta región y afecta directamente a toda la vegetación y al resto de algas, sobre

todo a las praderas de *Posidonia*. Pero al ir eliminando poco a poco la vegetación nativa, indirectamente también lo hace con la fauna que se alimenta o vive en dicho medio (peces, esponjas, erizos, y otras especies poco móviles) (Anderson, 2005).

Codium fragile Suringar, 1867 esta especie es reconocida a nivel mundial, ya que presenta una fácil reproducción (asexual) y puede desplazar a otras algas nativas, así como crustáceos, poliquetos y tunicados (Trowbridge, 1999).

Sargassum muticum (Yendo) Fensholt 1955, es una especie invasora originaria de las costas de China,-Japón y del noroeste del Pacífico. Su principal medio de dispersión han sido los barcos y sobre trozos de palos flotantes, tiene una tasa de crecimiento y fecundidad muy alta. Asimismo produce el desplazamiento de otras especies autóctonas (Harries *et al.*, 2007).

Undaria pinnatifida (Harvey) Suringar 1873 es originaria de Asia y actualmente invade la zona de costera de muchos países alrededor del mundo. , En 1971 se encontró en el Mediterráneo después en el Océano Atlántico en Bretaña y subsecuentemente se estableció en Reino Unido, España, Nueva Zelanda, Australia, Argentina, y el Océano Pacífico Norte (Martin *et al.*, 2008; Russell *et al.*, 2008).El tráfico naviero es quizás el vector más importante de dispersión accidental de la especie, que puede ser introducida en nuevas áreas geográficas. Esta puede transportarse fijada al casco de los buques así como también en forma de esporas en el agua de lastre. En resumen, las algas invasoras han producido grandes y dramáticos cambios en los ecosistemas marinos, ya que éstas se trasladan a través de las barreras geográficas o ecológicas y desplazan a las algas residentes (Kilar *et al.*, 1986; Martin *et al.*, 2008; Valentine *et al.*, 2003).

ACANTHOPHORA UN ALGA INVASORA

Acanthophora spicifera se introdujo en el archipiélago de Hawái en los años 1950's, y se catalogó como invasora. Hoy en día es una de las más comunes en este archipiélago. El éxito de *Acanthophora* como invasora es atribuido a que tiene la capacidad de reproducirse tanto sexualmente como vegetativamente por fragmentación. Las ventajas que puede tener su capacidad reproductiva son: (1) la extensión de la distribución de la especie, (2) incremento en la abundancia de organismos y la biomasa individual y (3) la colonización de áreas donde los propágulos sexuales presentan un alto rango de mortalidad. Además de que se reproduce en todo el año. En los arrecifes del Pacífico está en constante competición con las algas marinas residentes como es el caso de *Laurencia spp.* y *Hypnea cervicornis*. Se caracteriza por epifitar diferentes taxas incluyendo invertebrados y otras algas marinas tales como *Laurencia* (J.V. Lamouroux 1813), *Gracilaria* (C. Agardh) Greville 1830), *Padina* ((Linnaeus) Thivy in W.R. Taylor 1960), *Caulerpa* ((Forsskål) J.V. Lamouroux 1809), *Halimena*, y pastos marinos, *Halodule* Den Hartog. Presenta una amplia adaptabilidad a las condiciones ambientales. En las últimas tres décadas se han presentando dos importantes alteraciones negativas por la invasión de esta alga, 1) amenaza en los hábitat de arrecifes coralinos al impedir el crecimiento de los corales y otros organismos fotosintéticos por la falta de luz y dada su alta abundancia también afecta el reclutamiento, la biodiversidad y la sustentabilidad de la estructura de los ecosistemas arrecifales, 2) en la periferia de los manglares crea una barrera que afecta directamente la calidad del agua así como las corrientes, es decir, disminuye la propagación de las ondas y afecta a toda la biota presente (Smith *et al.*, 2002; Walters *et al.*, 2002; O'Doherty *et al.*, 2007; Schaffelke *et al.*, 2007; Tsuda *et al.*, 2008; Weijerman, 2008).

Otro aspecto importante es que *A. spicifera* no solamente causa efectos negativos en donde ha sido introducida, ya que se ha encontrado también que es fuente de alimento para la tortuga verde, *Chelonia mydas* (Linnaeus, 1758), peces herbívoros, erizos de mar y crustáceos (Kilar *et al.*, 1986; Russell, 2003).

En un estudio experimental realizado en Kaloko Honokōhau, Hawái en el 2005, se intentó controlar a *Acanthophora*, utilizando peces herbívoros. Como resultado se obtuvo que la introducción de peces herbívoros sí puede reducir la biomasa de *Acanthophora* pero para un mejor control, se sugirió combinar este método biológico con una extracción manual periódicamente (Weijerman, 2008).

El objetivo principal de este trabajo fue el determinar e investigar la fenología, biomasa y aspectos reproductivos de *A. spicifera* en la playa Punta Roca Caimancito de la Bahía de la Paz, B.C.S. proveyendo información fundamental para su taxonomía, ecología y reproducción en un nuevo ecosistema para esta alga invasora.

II. ANTECEDENTES

DESCRIPCIÓN DEL GÉNERO

El género *Acanthophora* (J.V. Lamouroux, 1813) se encuentra dentro del Phylum Rhodophyta, en la tribu Chondrieae. Este es uno de los grupos más antiguos de plantas eucariotas. Dentro de esta clase podemos encontrar unas 4000 especies (Guiry *et al* 2010; Lee, 2008). Del género *Acanthophora* se han descrito 27 especies de las cuales solo 6 han sido taxonómicamente reconocidas como son: *Acanthophora aokii* Okamura 1934, *Acanthophora dendroides* Harvey 1855, *Acanthophora nayadiformis* (Delile) Papenfuss 1968 antes llamada *Fucus navadiformis* (Delile 1813), *Acanthophora pacifica* (Setchell)

Kraft 1979, *Acanthophora ramulosa* Lindenberg ex Kützing 1843, y *Acanthophora spicifera* (M.Vahl) Børgesen 1910 (Cecere, 2002).

DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

Una de las características únicas de *Acanthophora spicifera* es que el eje principal no presenta espinas. Son plantas erectas que llegan a medir hasta 250 mm, con ramas cilíndricas sólidas de 2 a 3 mm de amplitud. (Oliveira *et al.*, 2005) Algunas ramas son cortas y presentan formas irregulares con numerosas espinas que están organizadas radialmente. El crecimiento que presentan es apical, crece sujeta a un sustrato duro con un largo e irregular sujetador del cual surgen muchas espinas erectas. En aguas profundas, donde hay un menor movimiento de agua, son más pequeñas y pueden medir de 40-100 mm de largo, son algo compactas y muy densas del talo. En comparación con especímenes de aguas poco profundas, donde los talos son de 100 a 250 mm y con las ramas más abiertas. La coloración de esta alga puede variar, por lo general es rojo pero la podemos observar en los siguientes colores: morado, amarillo, anaranjado y marrón. Entre mayor sea la profundidad el alga va a ser más oscura. En zonas poco profundas la coloración es de color arena o más clara. *A. spicifera* es abundante en aguas calmadas poco profundas, en arrecifes, en pozas bajas y en zonas rocosas intermedias. Usualmente vive incrustada a sustratos duros como rocas, moluscos y corales. También se pueden encontrar fragmentos de esta alga flotando libremente en la columna de agua. En cuanto a las características estructurales, se tiene que los ápices son piramidales con tricoblastos. Las células pericentrales son densas y corticadas, las células axiales están comúnmente en el centro. *A. spicifera* comúnmente se asocia con otras algas que son más tolerantes a la exposición de la

marea y son capaces de retener agua cuando están expuestas al aire (Kilar *et al.*, 1986; Perrone *et al.*, 2006).

DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA

Los miembros del género *Acanthophora* se encuentran en todas las latitudes desde el Ecuador hasta los mares más fríos. La talla promedio de estas algas varía dependiendo de la geografía de la región. Las especies más carnosas ocurren generalmente en áreas templadas, mientras que en las áreas tropicales podemos encontrarlas más pequeñas y filamentosas (De Reviers, 2002; Lee, 2008).

REGISTROS FLORÍSTICOS DE ALGAS

Desde el siglo pasado se han hecho recolecciones de algas marinas en el Golfo de California (Dawson, 1944). A pesar de que hay estudios taxonómicos de macroalgas realizados casi por más de 260 años en el Golfo de California, en ninguno de ellos se hace alusión a la presencia de *Acanthophora spicifera* en el Golfo de California. (Howe, 1911; Setchell y Gardner, 1924; Dawson, 1953; Dawson, 1966; Norris, 1972; Norris, 1975; Mendoza-González y Mateo-Cid, 1986; Martínez-Lozano *et al.*, 1991; Mateo-Cid *et al.*, 1993; Serviere-Zaragoza *et al.*, 1993; Mendoza-González *et al.*, 1994; Casas-Valdez *et al.*, 1997; Serviere-Zaragoza *et al.*, 1998; Rodríguez-Morales y Siqueiros-Beltrones, 1999; Aguilar-Rosas *et al.*, 2000; Paul-Chávez y Riosmena-Rodríguez, 2000 y Aguilar-Rosas *et al.*, 2002). Por esta razón, se considera necesario realizar un muestreo extensivo de esta especie en el Golfo de California, con el fin de tener mayores evidencias de su distribución en el Golfo de California.

A partir del 2006 *A. spicifera* se empezó a observar en el Golfo de California y se ha dispersado en zonas poco profundas. *A. spicifera* podría perjudicar a la flora local disminuyendo la cobertura y biomasa de estas. En la Bahía de La Paz *A. spicifera* se asocia con arrecifes rocosos en donde podemos observar que los bosques de *Sargassum* residentes del área, los cuales presentan un crecimiento rápido, podrían ser desplazados. Como se ha observado que *Acanthophora* se ha establecido en puntos donde podría afectar económicamente a los pescadores residentes debido a que se extraen peces comerciales asociados a los bosques de *sargassum*. Así mismo también podrían estar en peligro los arrecifes coralinos ya que pueden impedir que tomen la luz solar necesaria para su desarrollo. Este evento afectaría directamente a los peces que ahí residen, también perturba el atractivo turístico, además que perjudica directamente a la economía regional (Riosmena *et al.*, 2009).

III. JUSTIFICACIÓN

Acanthophora spicifera es un alga nativa del Caribe y actualmente se ha dispersado por diversos ecosistemas marinos tropicales y subtropicales. En el archipiélago Hawaiano esta alga fue introducida por medio de los barcos desde los años 50's y es considerada como una especie invasora que ha causado fuertes impactos en el ecosistema, (Weijerman *et al.*, 2003). No obstante, estudios recientes indican que esta alga ha llegado ya a las costas del Pacífico Mexicano (Riosmena-Rodríguez *et al.*, 2009) sin que se hayan hecho investigaciones acerca de sus capacidades adaptativas y los efectos que causa en el ecosistema. Esta alga se encuentra en algunos sitios de la Bahía de La Paz (suroeste del Golfo de California). Por lo tanto es imprescindible estudiar algunos aspectos de su ciclo de vida como su tipo de reproducción (sexual y asexual), biomasa, distribución y el

comportamiento de la misma en el medio marino ya que puede ser perjudicial para muchos organismos. Un ejemplo son los arrecifes coralinos como se había mencionado perjudica a este ecosistema junto con todas las especies asociadas.

IV. OBJETIVO GENERAL

1.-Determinar la fenología y aspectos reproductivos de *A. spicifera* en la Bahía de La Paz, B.C.S, México.

V. OBJETIVOS PARTICULARES

1.-Determinar la variación de la biomasa de *A. spicifera* a lo largo de un ciclo anual.

2.-Estudiar la estacionalidad reproductiva de *A. spicifera* y elaborar un esquema de su ciclo reproductivo.

3.-Investigar los cambios estacionales en la estructura de tallas *A. spicifera* en la playa Punta Roca Caimancito, en la Bahía de La Paz.

4.-Evaluar los tipos de reproducción que *A. spicifera* presenta durante su permanencia en la Bahía de La Paz.

VI. ÁREA DE ESTUDIO

La Bahía de La Paz (Fig.1a) es un cuerpo de agua semiprotectido que se ubica sobre el margen sur oriental de la península de Baja California. Cubre aproximadamente 2635 km², presenta una forma ovalada con una anchura de 35 km y 80 km de largo y es separada

del Golfo por una península estrecha. Su profundidad puede variar desde 10 m hasta 450 m. Asimismo, presenta un sistema de marea de tipo mixto semidiurno con un nivel mayor a 1 m durante mareas vivas (Obeso-Nieblas *et al.*, 2008). La playa Punta Roca Caimancito (Fig.1b) se encuentra en el extremo suroeste de la Bahía ($24^{\circ}12'07.36''$ N y $110^{\circ}18'03.10''$ O), entre la playa El Coromuel y Costa Baja (Fig.1c). Se caracteriza por ser una zona somera de fondo arenoso con parches de roca. Por esta playa pasa un canal profundo por donde entra y sale el agua de la Ensenada de La Paz. Esta playa presenta un oleaje de muy baja intensidad y la comunidad algal se localiza a poca profundidad (< 2 m) (Fig. 2) (Ceseña-Arce, 2003).

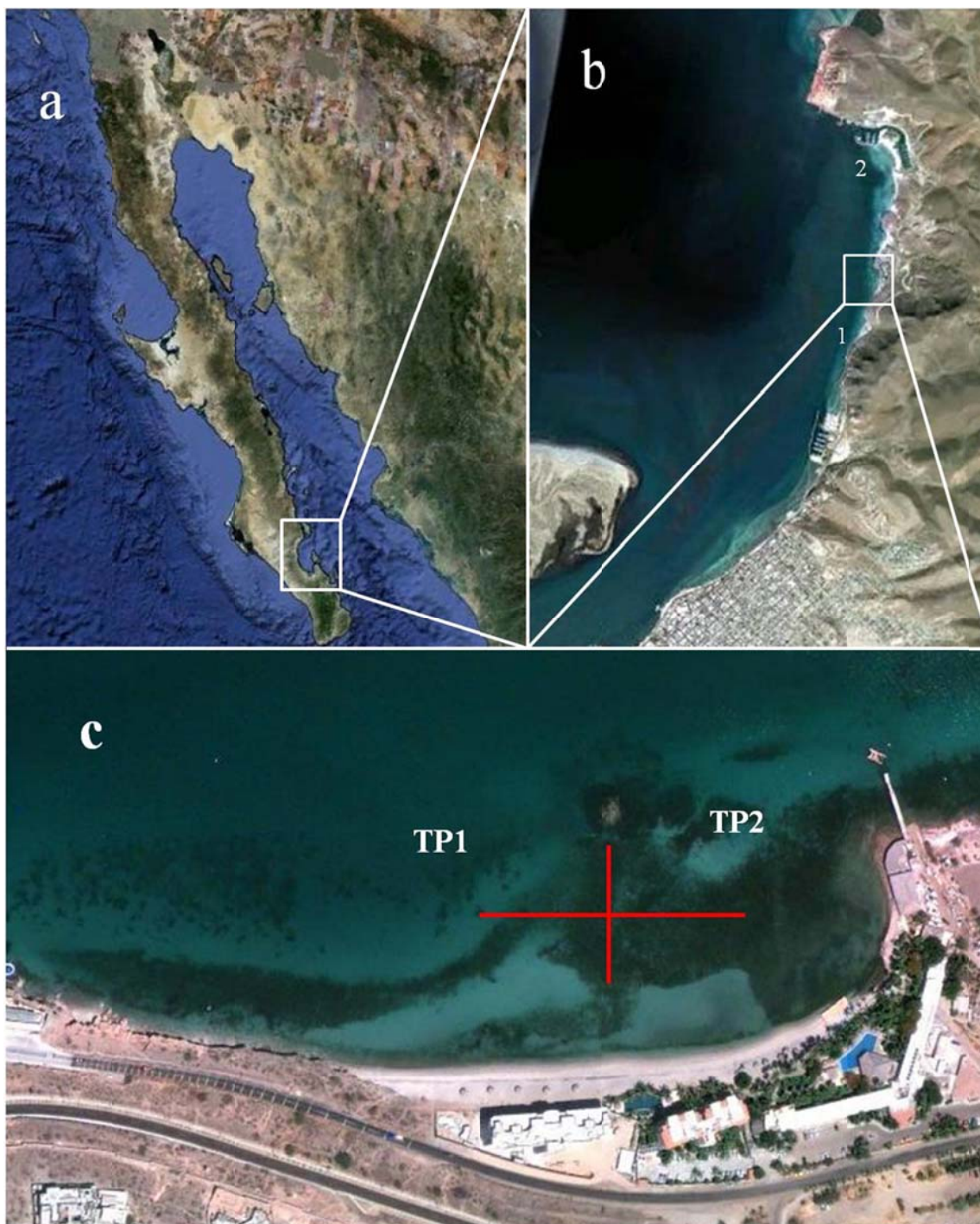


Figura 1. a) Imagen de la península de Baja California donde se ubica la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México b) Playa Punta Roca Caimancito que se encuentra entre El Coromuel (1) y playa Costa Baja (2), c) ubicación del área de estudio, Playa Punta Roca Caimancito, (TP1) Transecto Paralelo a la línea de Costa, (TP2) Transecto Perpendicular a la línea de Costa.

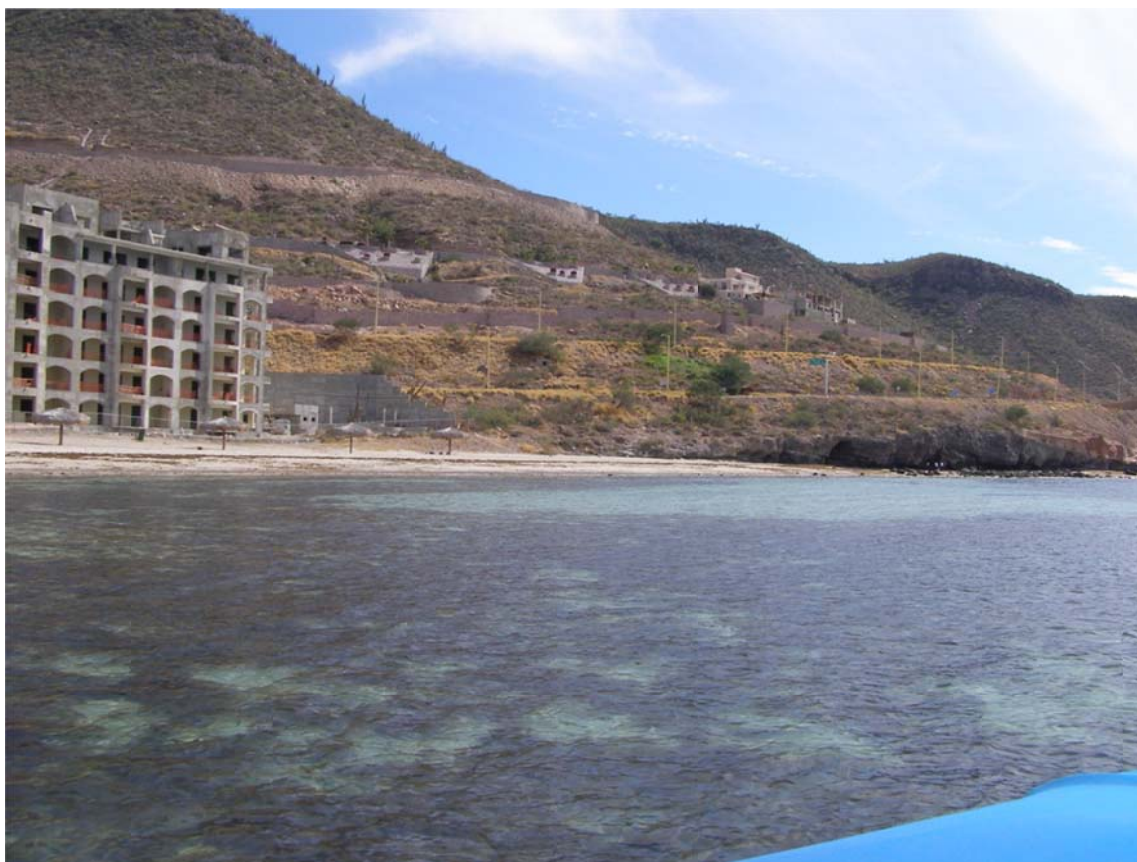


Figura 2. Manto de *Acanthophora spicifera* en la Playa Punta Roca Caimancito, B.C.S.

VII. MATERIAL Y MÉTODOS

En el área de estudio Punta Roca Caimancito donde se distribuye *A. spicifera* se colocaron al azar dos cuadrantes de PVC de 25x25 cm (0.0625 m^2) a una distancia aproximada de 20 m uno del otro a una profundidad aproximada de 1.5 m. Dentro de cada cuadrante se recolectaron todos los talos de *A. spicifera* presentes, así como los organismos asociados (flora y fauna). El material se colocó en bolsas de plástico previamente etiquetadas. Después, en el laboratorio de Botánica Marina de la UABCS se separaron los organismos asociados a esta macroalga invasora y se obtuvo el peso (g) de cada grupo taxonómico con una balanza analítica (Chyo JL180). Posteriormente, las muestras de *A. spicifera* se secaron en una estufa (VWR-1350F) a 60°C para obtener el peso seco (g). Con estos datos se estimó la biomasa (g peso seco m^{-2}) de *Acanthophora* y la de los organismos asociados.

Además, en el área de estudio se recolectaron al azar 20 talos de *A. spicifera* con los cuales se determinó la longitud máxima promedio (mm) así como el número promedio de ramificaciones (número de ramificaciones por talo) y el número de espinas por cada rama, se tomó el promedio de cada rama secundaria con espinas (número de espinas por mm lineal de las ramas secundarias). Se comparó además el número promedio de espinas en tres alturas de la planta (parte apical, media y en la base). Estas medidas se hicieron con la finalidad de determinar si la complejidad estructural de la planta varía a lo largo del talo y también temporalmente. Esto nos permite buscar una relación con la diversidad y abundancia de organismos asociados. También se observó si los talos contenían estructuras reproductivas, para esto se realizaron 3 cortes transversales a lo largo del talo y se tomó una muestra de cada lado es decir parte apical, media y de la base. A los cortes se les aplicó la tinción de azul anilina para poder tener una mejor resolución de las estructuras

reproductoras. Las observaciones se hicieron bajo un microscopio óptico (Olympus CX31, CX40) con una resolución de 10, 20 y 40 X, y se tomaron fotografías de las diferentes estructuras con una cámara digital (Olympus, Modelo C-4040ZOOM). La periodicidad de estos muestreos fue mensual dentro del área de estudio de Octubre de 2008 a Octubre de 2009. Solo el mes de diciembre de 2008 no se muestreo.

ANÁLISIS DE DATOS

La descripción y análisis de los datos se llevó a cabo utilizando el programa SigmaStat 3.5®. Se hicieron pruebas *a priori* para normalidad y homogeneidad. Se realizaron análisis de varianza (ANDEVA) paramétricos y no paramétricos (por rangos Kruskal-Wallis) y pruebas *a posteriori* de Tukey para determinar si cada uno de los parámetros medidos (biomasa, longitud del talo, longitud de la ramas secundarias, número de ramificaciones y cantidad de espinas) variaba significativamente a través del tiempo (12 meses) (Sokal y Rohlf, 1995; Zar, 1999). También se realizaron correlaciones de Pearson para determinar si hubo relación entre la biomasa (en peso seco) de *A. spicifera* y la biomasa de la flora y fauna asociada. Se estimó la biomasa total que puede producir el manto de Punta Roca Caimancito, determinando el área total del manto mediante el análisis de imágenes de satélite con el programa ArcView 9.3® y extrapolando los valores obtenidos al área total.

VIII. RESULTADOS

Condiciones ambientales

Se registró una temperatura máxima de 29° C en los meses de octubre de 2008 y julio y agosto de 2009 y una mínima de 22° C en los meses de febrero, marzo y mayo de 2009 (Fig. 3). En tanto que la salinidad más alta (37) se registró en el mes de abril y julio de 2009 y la más baja (34) en febrero (Fig. 3).

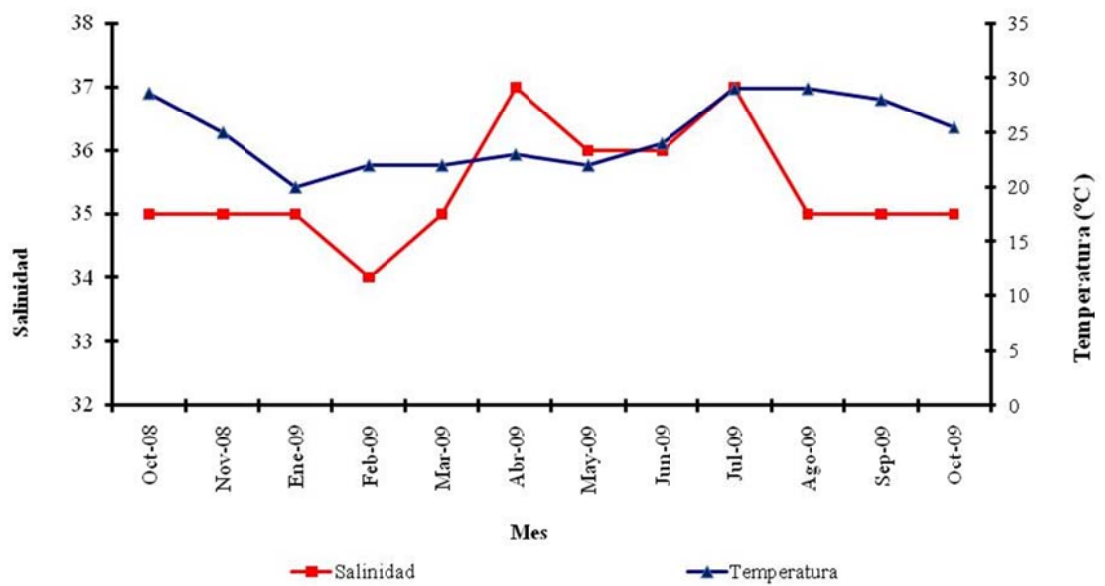


Figura 3. Variación estacional de la temperatura (°C) y la salinidad en Punta Roca Caimancito.

CARACTERÍSTICAS GENERALES Y MORFOLÓGICAS DE *ACANTHOPHORA SPICIFERA* EN PUNTA ROCA CAIMANCITO.

En Punta Roca Caimancito, la extensión del manto (Fig.4) de *Acanthophora* ha continuado incrementándose desde el año 2006, año en que se registró por primera vez en esta zona. La extensión actual (2009) es de 31,536.93 m² ó 3.16 hectáreas. La biomasa máxima estimada para todo el manto fue de 8.12 ton PS en noviembre y la mínima fue de 1.18 ton PS en febrero (Fig. 5).

En esta área *A. spicifera* puede encontrarse creciendo sobre una gran variedad de sustratos duros, incluso epifitando a otras especies de macroalgas o sobre invertebrados (Tabla. I) (cnidarios, corales, esponjas, moluscos) (Fig. 6). No obstante, el sustrato principal donde se adhiere es roca, coral muerto y conchas (Fig. 6), a esto se le denomina como epizoica y epilítica, es decir, que están sujetas a animales y rocas respectivamente.

Figura 4. El Manto de *A. spicifera* en Punta Roca Caimancito a través del tiempo. En **a** y **b**) muestra el área antes de la aparición de *A. spicifera* en 2004 y 2005, se puede observar una menor densidad de diversas algas. **(c)** En 2006 se observó por primera vez *A.spicifera* en Punta Roca Caimancito. **d)** se observa cómo ha aumentado el manto en el último año (2009) de muestreo en Punta Roca Caimancito.

Tabla I. Flora y fauna asociada a *A.spicifera* en Punta Roca Caimancito

Flora asociada a <i>A.spicifera</i>	Fauna asociada a <i>A.spicifera</i>
<i>Halimeda</i> (Lamouroux,1812)	Cnidarios (Hatschek, 1888)
<i>Caulerpa</i> (Lamouroux,1809)	Esponjas (Grant, 1836)
<i>Codium</i> (Stackhouse, 1797)	Crustáceos (Brunnich, 1772)
<i>Ulva</i> (Linnaeus,1753)	Peces (Bateson,1885)
<i>Laurencia</i> (Lamouroux, 1813)	Moluscos (Linnaeus, 1758)
<i>Ceramium</i> (Roth, 1797)	
<i>Spyridia</i> (Harvey in Hooker,1833)	
<i>Gracilaria</i> (Greville, 1830)	
<i>Hypnea</i> (Lamouroux, 1813)	
<i>Jania</i> (Lamouroux, 1812)	
<i>Amphiroa</i> (Lamouroux, 1812)	
<i>Lithophyllum</i> (Philippi, 1837)	
<i>Gelidiella</i> (Feldmann y Hamel, 1934)	
<i>Champia</i> (Desvaux, 1809)	
<i>Gigartina</i> (Stackhouse, 1809)	
<i>Padina</i> (Adanson, 1763)	
<i>Dictyota</i> (J.V Lamouroux, 1809)	
<i>Sargassum</i> (C.Agardh, 1820)	
<i>Hydroclathrus</i> (Bory de Saint-Vincent, 1825)	
<i>Rosenvingea</i> (Børgesen, 1914)	

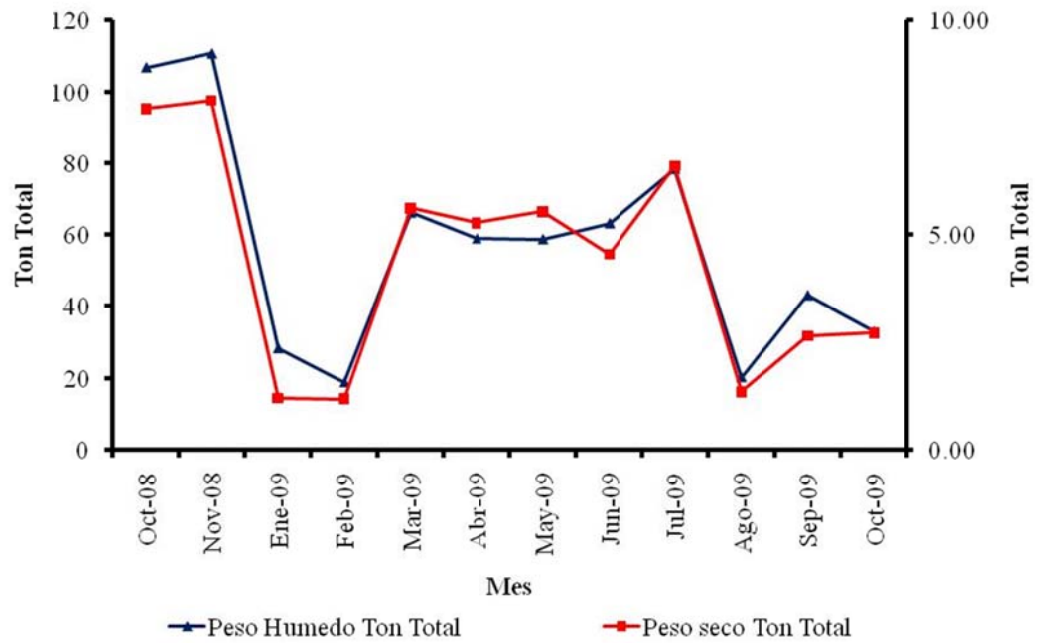


Figura 5. Biomasa total del manto de *A. spicifera* en Punta Roca Caimancito en peso húmedo (azul) y peso seco (rojo)

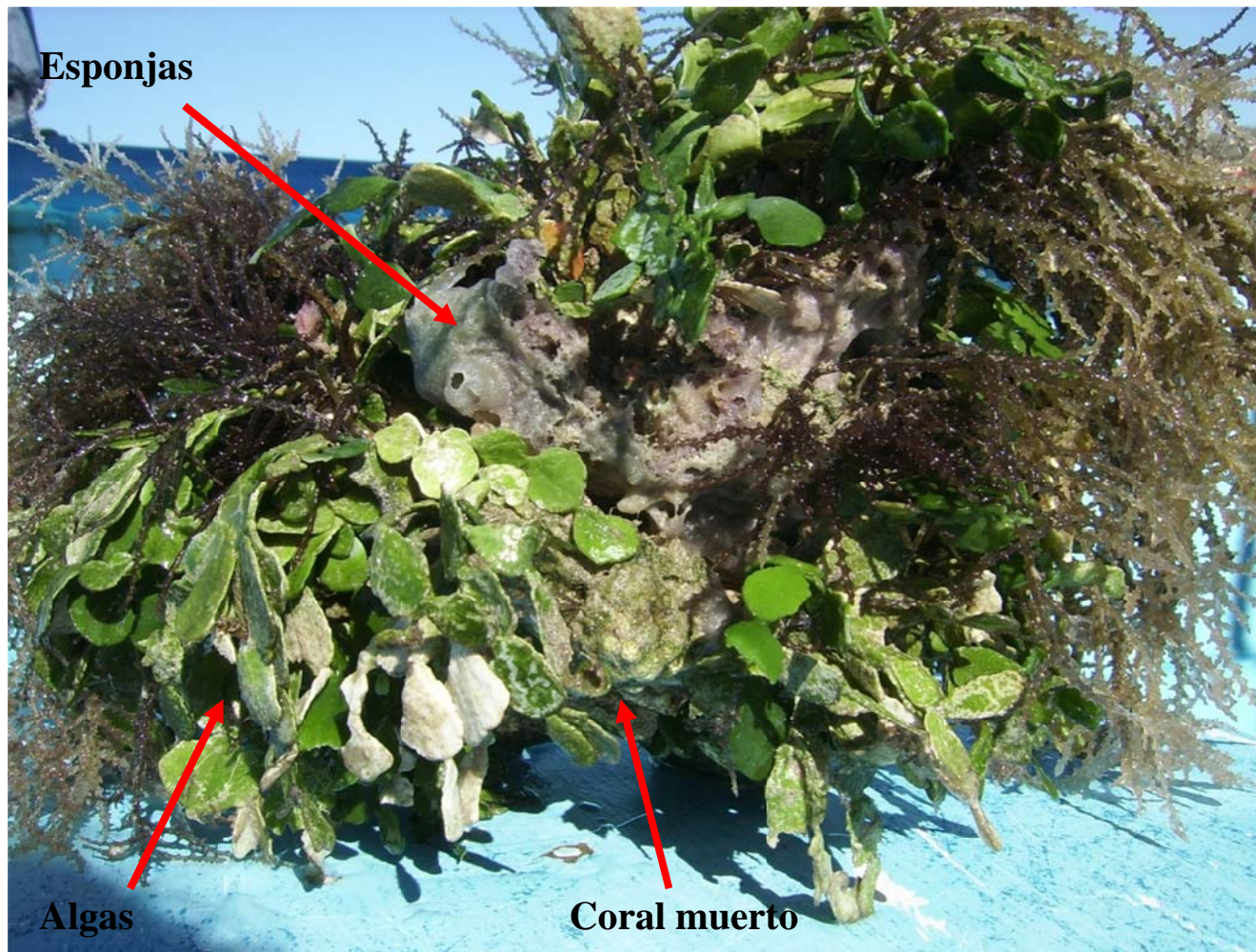


Figura 6. Especímenes de *A. spicifera* creciendo sobre diferentes tipos de sustrato (coral, algas y esponjas)

La coloración de *A. spicifera* va de marrón a roja (Fig. 7a y b). En los talos maduros su coloración va de marrón claro a oscuro (Fig.7a). Presentan un crecimiento simpodial y apical, presenta ramificaciones secundarias, tiene una textura rugosa o áspera, posee un sujetador discoidal de forma irregular, en su eje principal no presenta espinas. Se caracteriza por ser un talo muy ramificado así como arbustivo y frondoso (Fig.7a). Los talos que se encontraron por lo general eran maduros y muy pocos eran juveniles. También podemos observar estolones con forma rizoidal en la parte baja del alga, estos también sirven para sujetarse al sustrato y dar origen a un nuevo talo (Fig.7c).

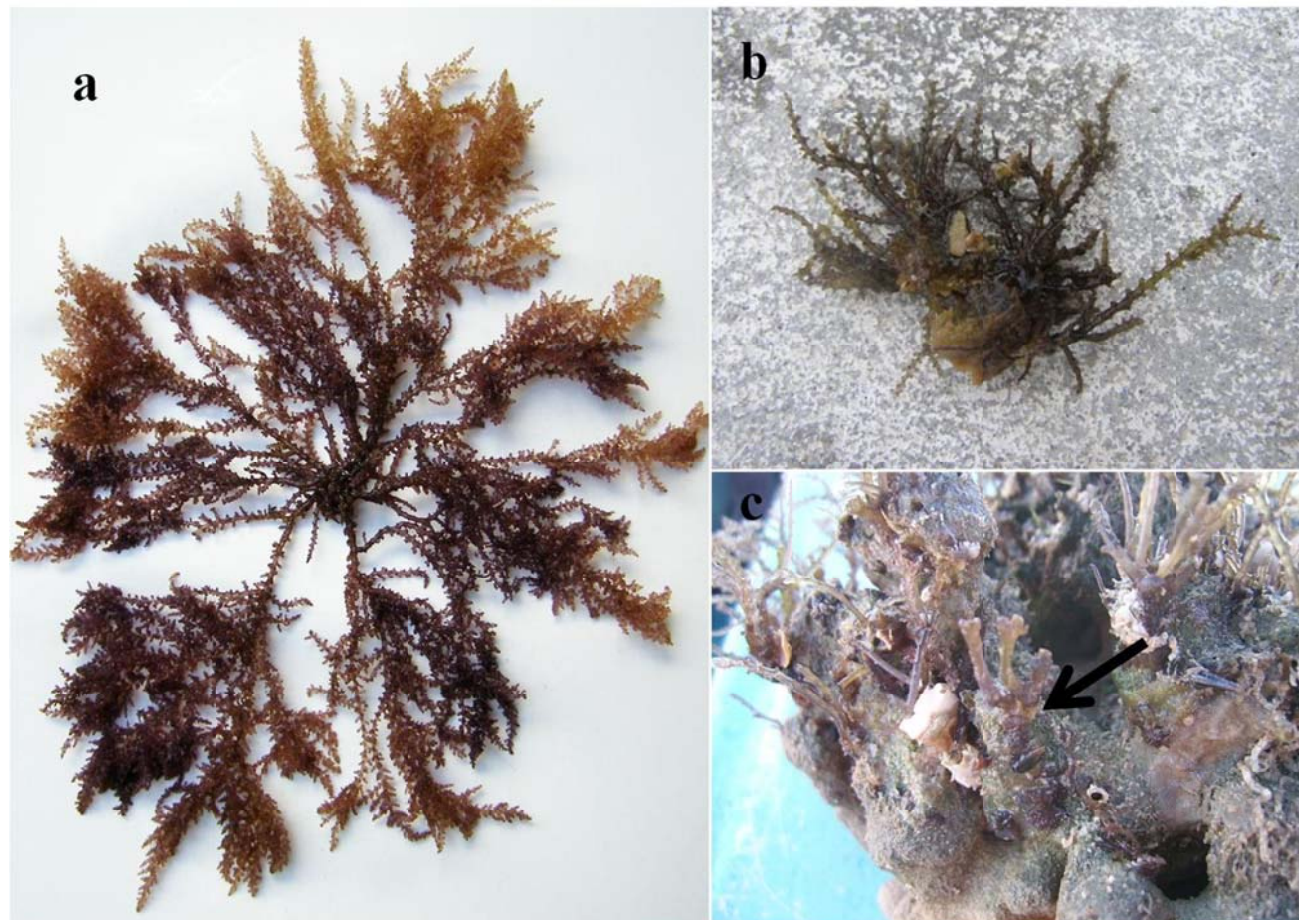


Figura 7. Características anatómicas del talo de *A. spicifera* en Punta Roca Caimancito B.C.S. Se distinguen diferentes tonos de coloración; **a)** espécimen de color rojo, **b)** espécimen de color marrón. **c)** proliferación de frondas juveniles en la parte baja de los estolones (flecha negra).

El alga *A. spicifera* presenta un crecimiento meristemal apical (Fig.8a). Posee espinas con una longitud promedio de 3 mm, las cuales pueden variar morfológicamente. Estas son puntiagudas y existe un espacio entre ellas, es decir, no están una sobre la otra (Fig.8b).

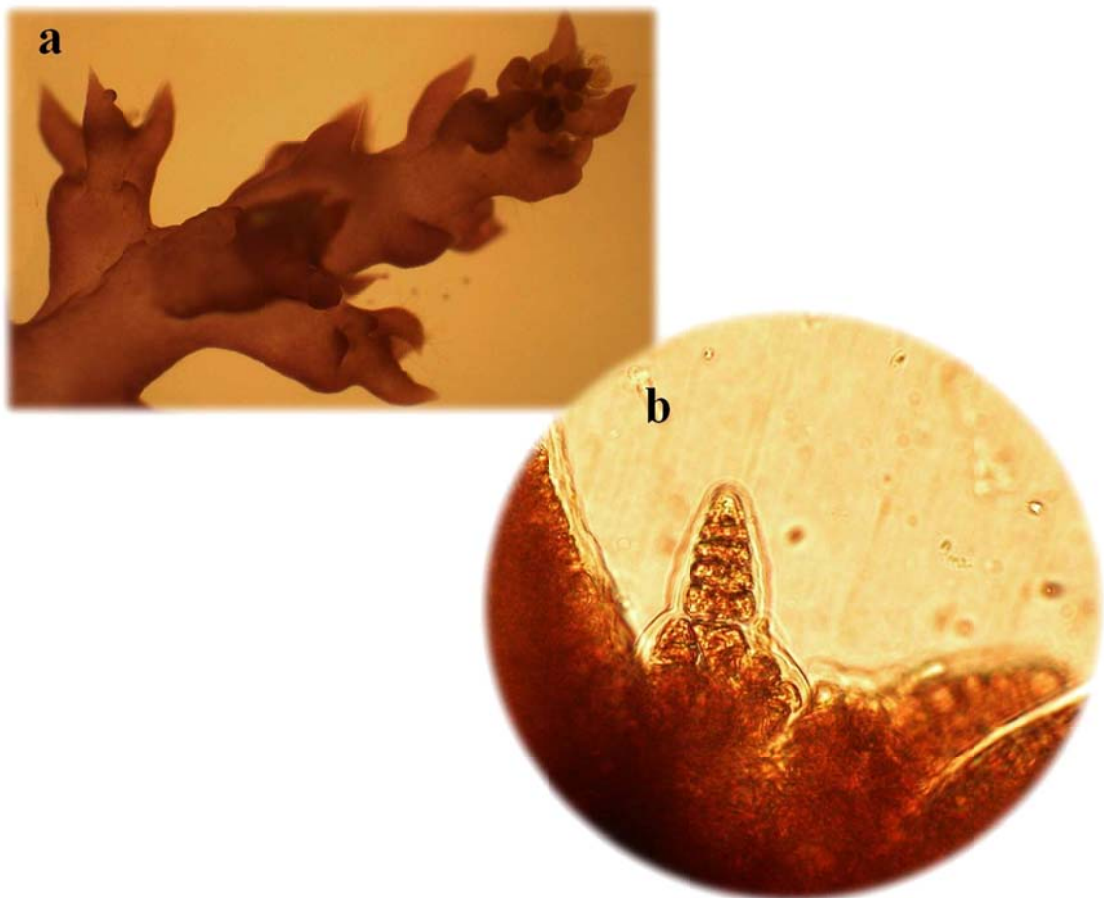


Figura 8. a) Morfología de las espinas. b) Células de crecimiento meristemal en la zona apical de *A. spicifera*.

En un corte transversal se observó que las células pericentrales son densas y corticadas (Fig.9b). Las células axiales están en el centro del talo y le dan soporte (Fig.9c).

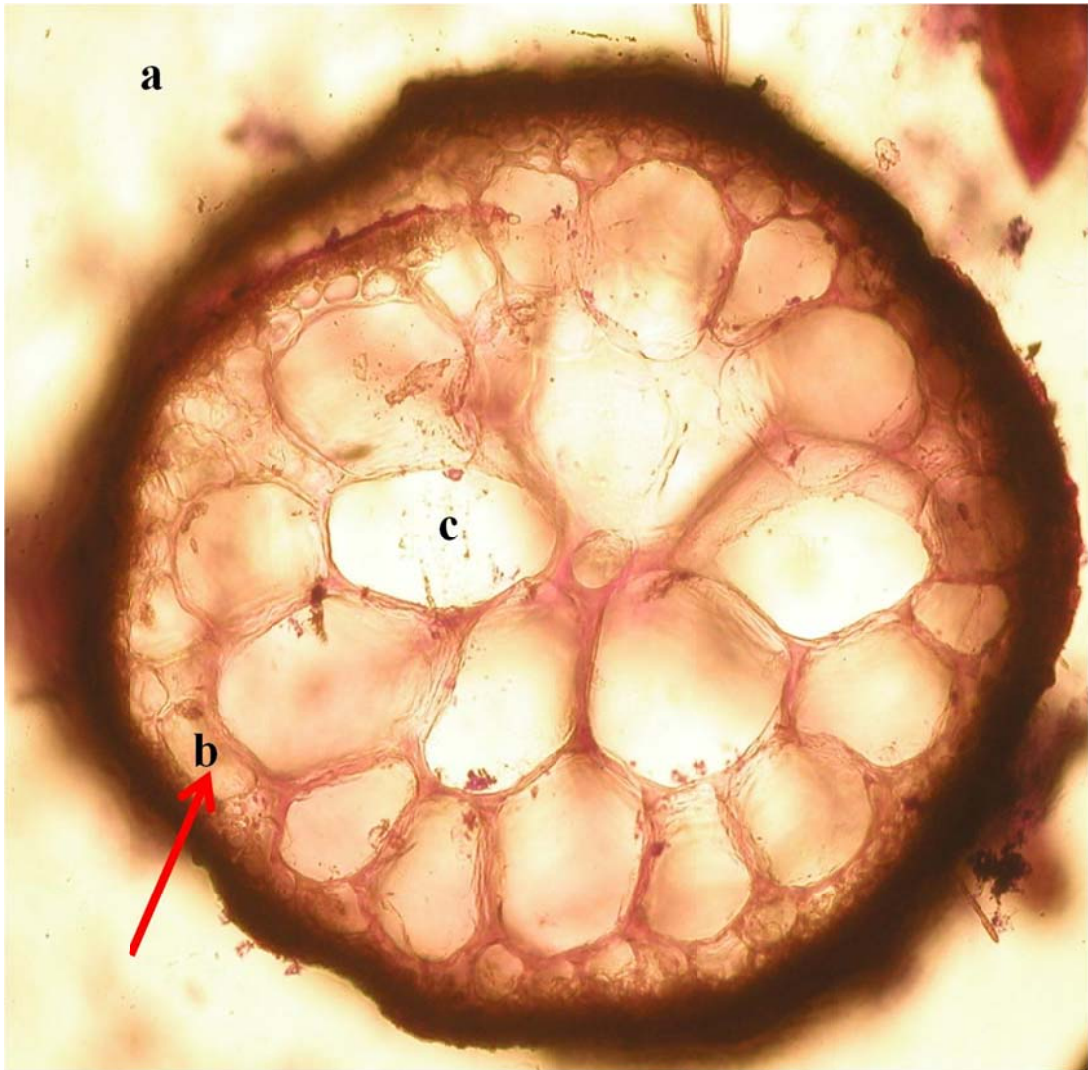


Figura 9. a) Corte transversal donde se observan las células medulares que dan soporte al talo de *A. spicifera*, b) células pericentrales, (flecha roja) c) células axiales o de soporte.

En este corte transversal (Fig. 10) se puede observar que las células pericentrales no son tan densas por encontrarse en la zona apical donde no actúan como células de soporte. Solo las células medulares presentan estas características, ya que se encuentran en la parte basal del talo (Fig. 10).

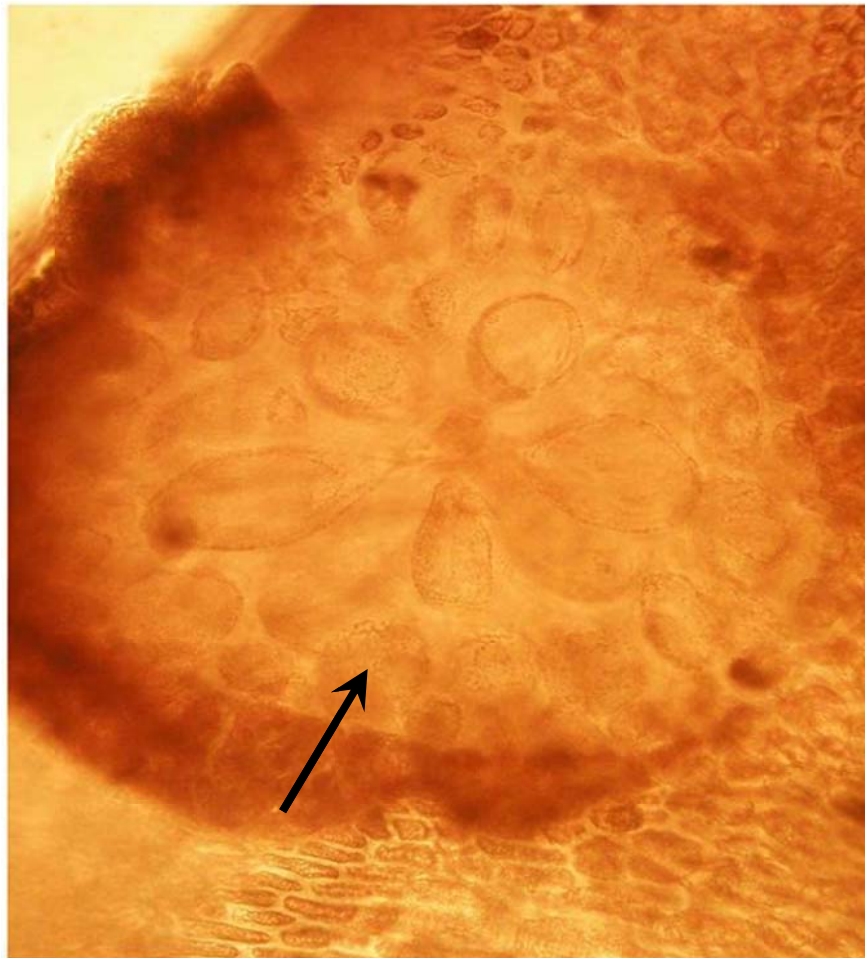


Figura 10. Célula pericentral de *A. spicifera* en la parte apical del talo

En el área de estudio esta alga invasora se reproduce principalmente por vía asexual (fragmentación). No obstante, se pudieron observar indicios de que también se reproduce por vía sexual. Se observaron gametofitos femeninos en la parte apical (Fig.11a) donde están las espinas, y solo se encontró un cistocarpo por espina. Se observó que los cistocarpos estaban maduros (Fig. 11b). Los gametofitos masculinos,

denominados espermatangios (Fig. 11c), presentan filamentos largos, delgados y compactos llamados tricoblastos que se encuentran en la parte apical del gametofito masculino (Fig. 11d).

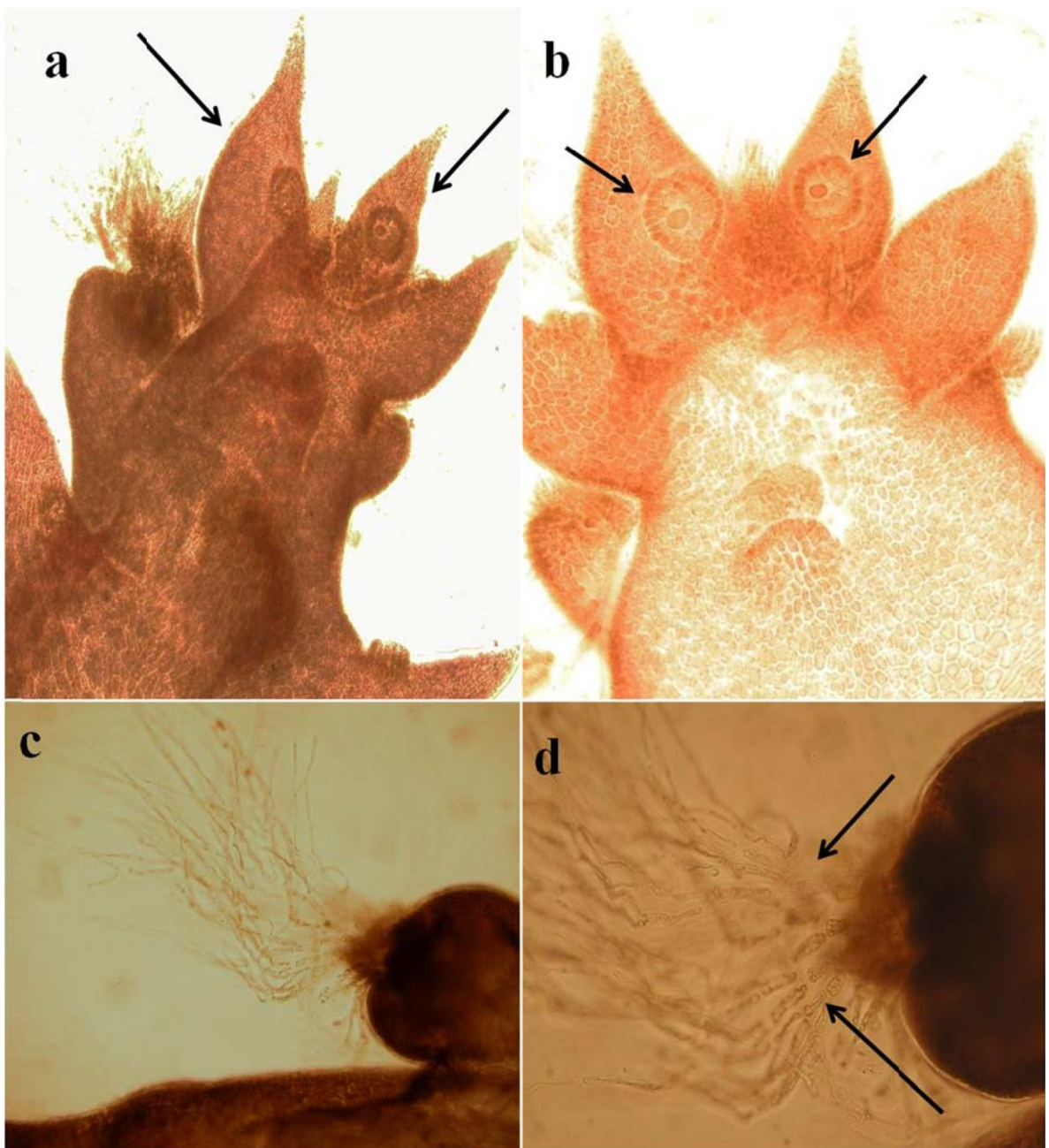


Figura 11. a) Las flechas nos muestran la zona de crecimiento simpodial del gametofito femenino. b) Cistocarpo maduro. c) Estructura del gametofito masculino. d) Acercamiento del espermatangio en donde se observan los tricoblastos, del talo de *A. spicifera* (flechas negras).

LONGITUD DEL TALO

La longitud promedio máxima del talo de *A. spicifera* fue de 163 mm en el otoño de 2008 (octubre) y la longitud mínima fue de 108 mm en el verano (agosto) (Fig.12). El promedio anual fue de 154 mm. Previo al análisis ANDEVA se obtuvo que los datos son normales y no son homogéneos ($p < 0.05$). El resultado del ANDEVA por rangos (Kruskal-Wallis) (Anexo, Tabla III), nos muestra que la longitud del talo varió significativamente con respecto al tiempo ($p < 0.001$). La longitud del talo fue significativamente mayor en el mes de octubre 2008.

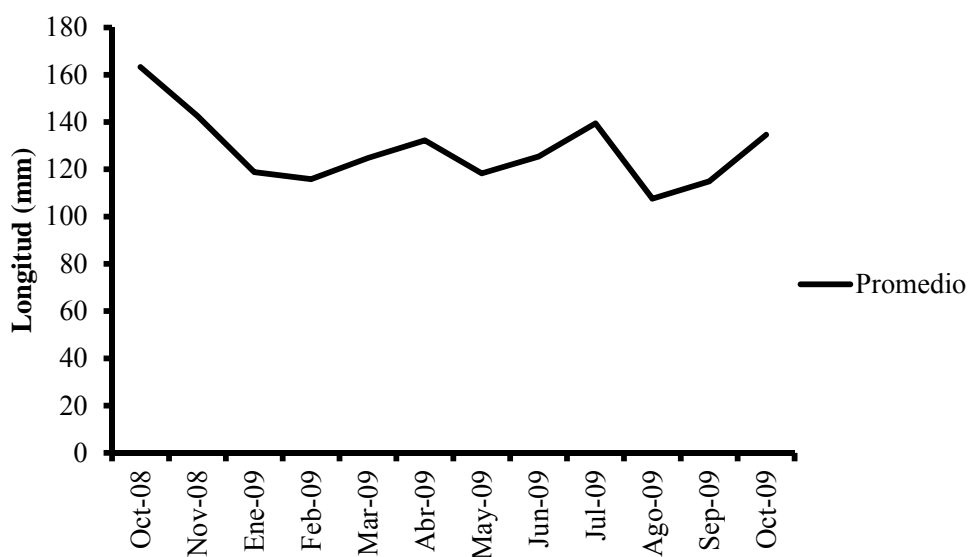


Figura 12. Longitud promedio mensual de los talos de *A. spicifera* en Punta Roca Caimancito.

RAMIFICACIONES DEL TALO

El número de las ramificaciones por talo no varió significativamente durante el periodo de estudio. El promedio mensual fue de 7 ramificaciones como máximo y un mínimo de 4 ramificaciones por talo (Fig.13). El promedio anual fue de 5 ramificaciones. Se realizó un análisis de varianza de una vía, en donde las pruebas *a priori* indicaron que los datos son normales ($p= 0.579$) y las varianzas son homogéneas ($P= 0.670$). El ANDEVA resultante (Tabla IV.) mostró que no hubo diferencias estadísticas en el número de ramificaciones entre meses ($p>0.05$).

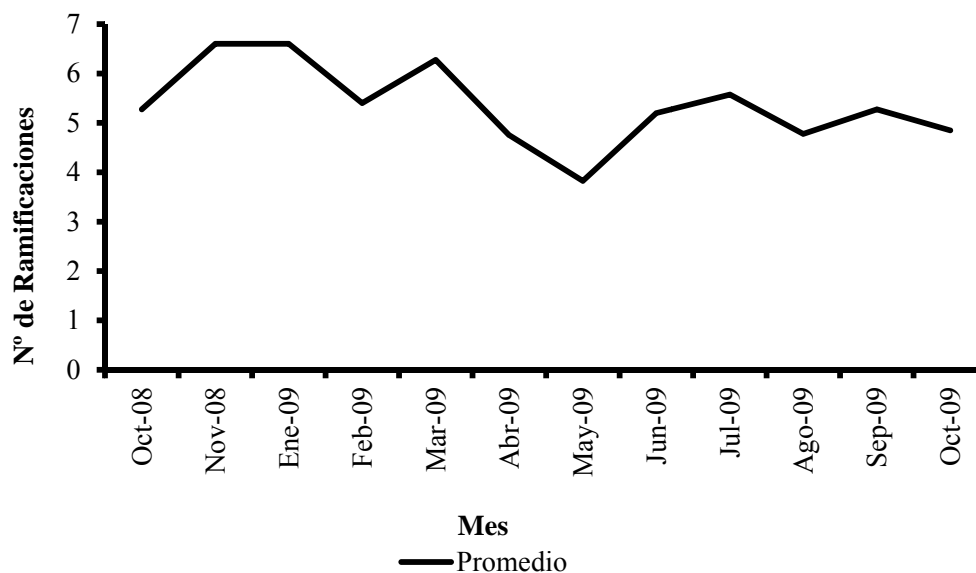


Figura 13. Variabilidad estacional en el número promedio de ramificaciones por talo en *A. spicifera* en Punta Roca Caimancito.

NUMERO DE ESPINAS POR 4.5 MM LINEALES

El número de espinas por 4.5 mm lineales de longitud de las ramas secundarias en el talo de *A. spicifera* no varió significativamente entre las distintas zonas (apical, media, baja) de la planta (ANDEVA, $p> 0.05$). El promedio mensual

máximo fue de 5.4 espinas por 4.5 mm lineales y la mínima de 3.9 espinas por 4.5 mm (Fig.14). El promedio anual fue de 4.5 espinas en 4.5 mm de longitud de la rama secundaria. No obstante sí se registraron diferencias significativas (ANDEVA, $p < 0.05$) a lo largo del año (Tabla V). La prueba de Tukey indicó que la densidad de espinas en noviembre (2008) fue significativamente mayor que en los otros meses.

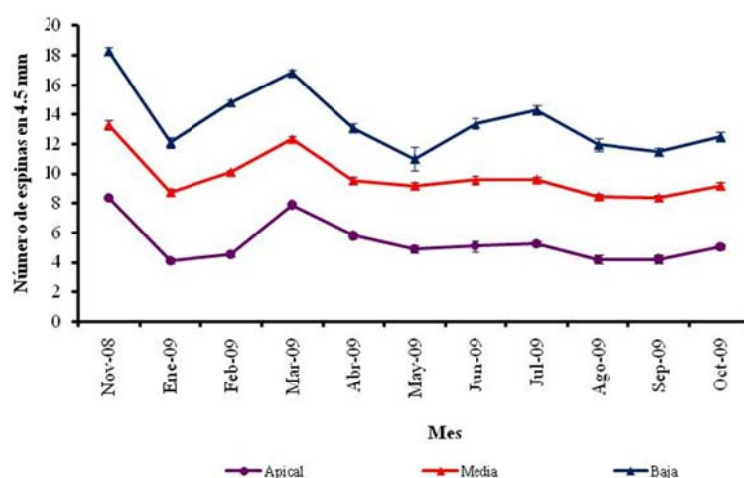


Figura 14. Número de espina en 4.5 mm lineales de longitud de las ramas secundarias de los talos de *A. spicifera* de Punta Roca Caimancito.

PORCENTAJE DE PESO HÚMEDO Y SECO

La biomasa promedio en peso húmedo (PH) fue mayor en noviembre (2008) 3.5 kg PH/m² y menor en febrero con 0.59 kg PH/m² (Tabla VI). La biomasa promedio anual fue de 1.63 kg PH/m² (Fig. 16). La variación de la biomasa en peso seco (PS) presentó una tendencia similar, el promedio mensual más alto se registró en octubre de 2009 y fue de 0.86 kg PS/m² y la mínima en febrero (2009) de 0.0375 kg PS/m² (Tabla VII). La biomasa promedio anual en peso seco fue de 0.29 kg PS/m² (Tabla VII). Las pruebas *a priori* dieron como resultado que no presentan normalidad ($p < 0.050$) ni tampoco homogeneidad de varianzas ($p < 0.050$). Por lo que el ANDEVA

(Tabla VIII) de rangos (Kruskal-Wallis) nos indicó que existen diferencias significativas en la biomasa a lo largo del año ($P < 0.001$).

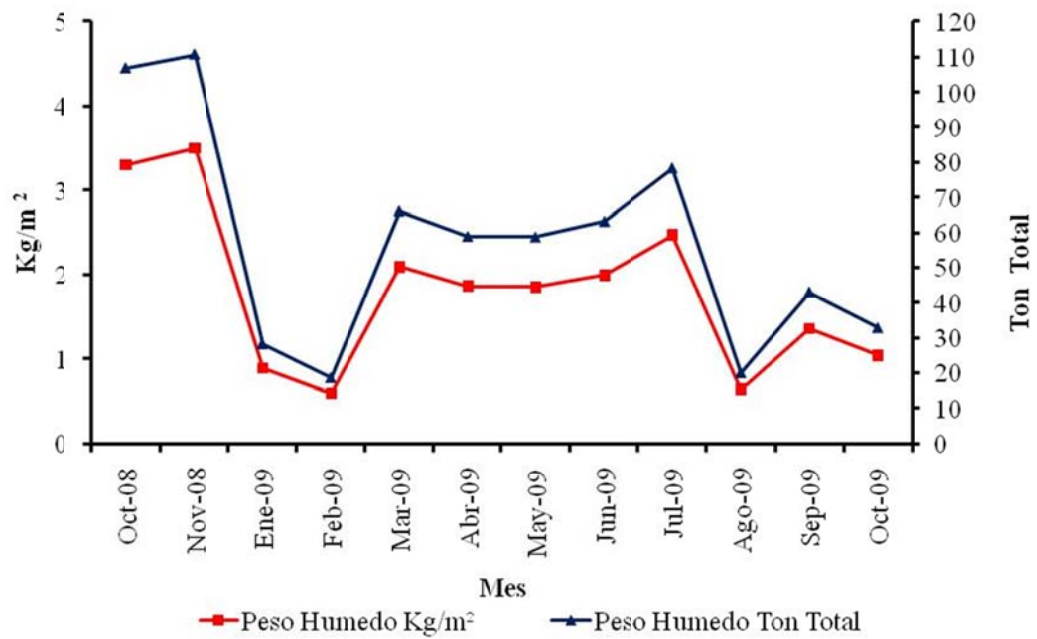


Figura 15. Variabilidad estacional en la biomasa húmeda de *Acanthophora spicifera* por metro cuadrado y por hectárea en Punta Roca Caimancito.

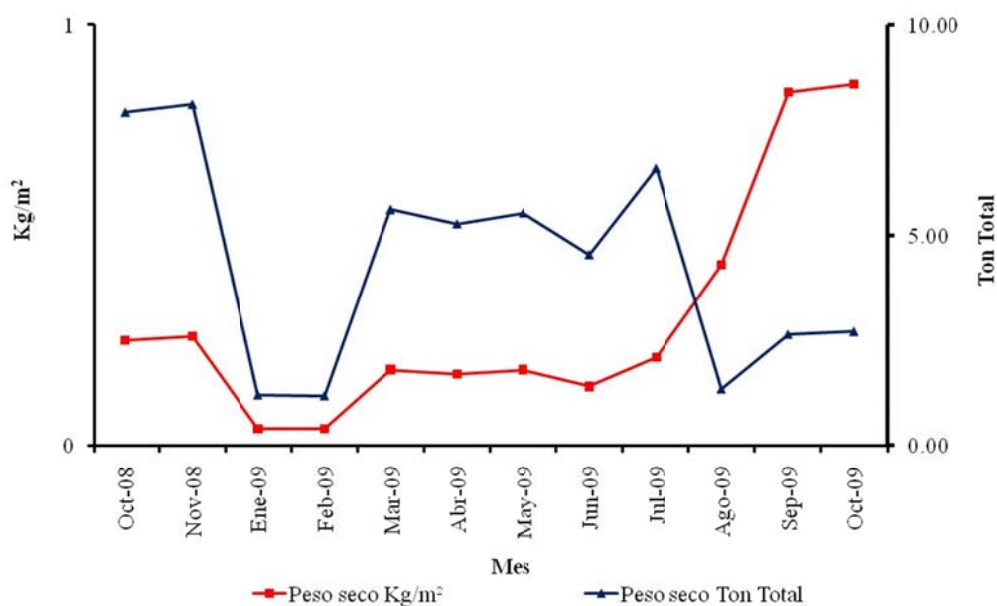


Figura 16. Variación estacional de la biomasa en peso seco de *Acanthophora spicifera* por metro cuadrado y total por hectárea en Punta Roca Caimancito.

FLORA Y FAUNA DE ACANTHOPHORA SPICIFERA

La flora y fauna asociada a *A. spicifera* estuvo representada por varios grupos, de los cuales los más comunes fueron moluscos, equinodermos, algas epifitas de diferentes divisiones, pastos marinos, esponjas y peces (Fig.17). La biomasa mensual máxima (en peso seco) de estos organismos fue de 0.20 kg/m² (6.27 ton PS para todo el manto) en septiembre y el mínimo de 0.03 kg/m² (1.01 ton PS) en noviembre. La biomasa promedio anual de organismos asociados a este manto de *A. spicifera* fue de 0.071 kg/m² (Tabla IX). El resultado de la correlación indicó que no hubo relación entre la biomasa en peso seco de *Acanthophora* y la biomasa de la flora-fauna en peso seco ($r = -0.1892$).

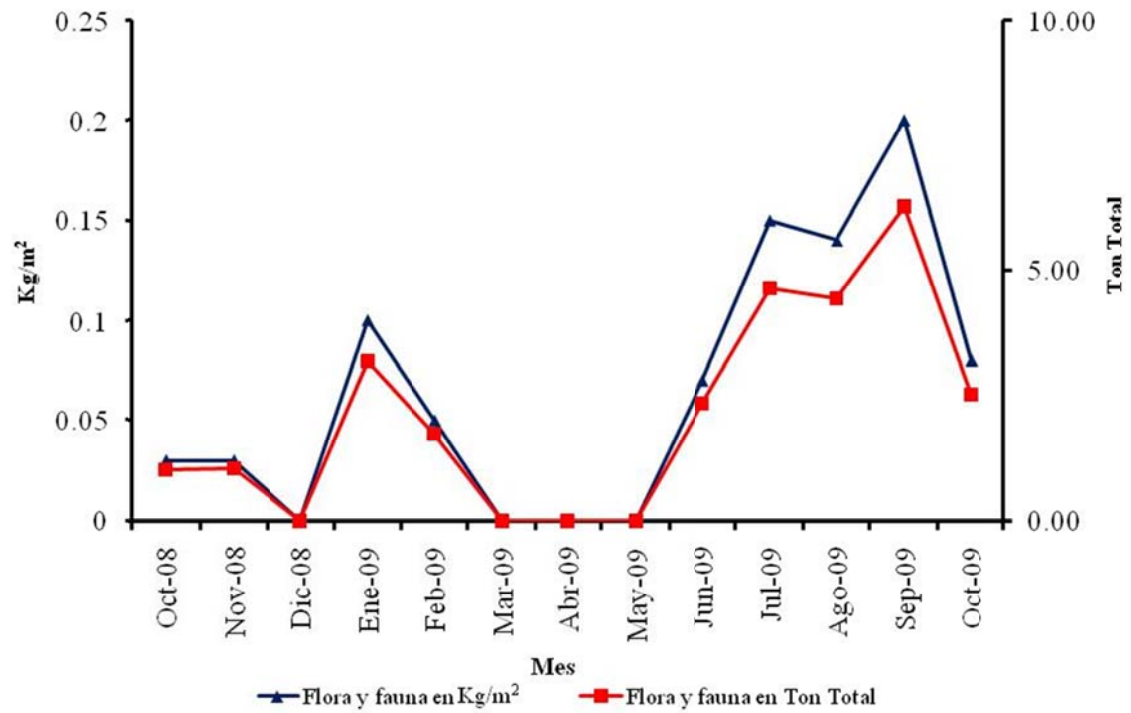


Figura 17. Biomasa promedio mensual de la flora y fauna total asociada al manto de *A. spicifera* de Punta Roca Caimancito.

IX. DISCUSIÓN

Acanthophora spicifera es una especie nativa del Caribe pero actualmente se ha documentado en muchas zonas costeras tropicales y subtropicales alrededor del mundo, donde se le ha considerado como una especie invasora (Collado-Vides, *et al.*, 1995; O'Doherty *et al.*, 2007; Quirós-Rodríguez *et al.*, 2010; Tsuda *et al.*, 2008; Serviere-Zaragoza *et al.*, 1992). En el Caribe de Panamá por ejemplo, se ha reportado que la temperatura óptima para esta especie es de 25°C. Asimismo en Pearl Harbor, O'ahu, Hawái, podemos encontrarla adaptada a un intervalo de temperatura de 23 a 29°C (Coles, 2006). En nuestra área de estudio (Punta Roca Caimancito) las condiciones de temperatura estuvieron en un rango de 20-29°C. Y considerando que tolera un amplio rango de temperatura, esta especie podría en su momento propagarse por todas las bahías y zonas someras del Golfo de California, ya que dentro de este sistema la temperatura del agua varía entre 16-29°C (Blanco-Betancourt *et al.*, 2004) valores similares a los de nuestra área de estudio (Naim, 1993). En el Caribe, esta especie se puede encontrar desde la zona intermareal hasta una profundidad de 8 a 22 m (Kilar *et al.*, 1986; Littler *et al.*, 2000). En Pearl Harbor, O'ahu, Hawái habita a una profundidad promedio de 9.2 m (Coles, 2006). En los sitios donde se distribuye dentro de la bahía de La Paz (México), esta alga puede encontrarse desde los 50 cm hasta los 5 m de profundidad en la zona submareal, en Punta Roca Caimancito esta distribución en profundidad podría estar asociada con la disponibilidad de sustrato duro (roca, coral, concha, etc.).

La longitud de los talos de *A. spicifera* en Punta Roca Caimancito estuvo en un rango de 99-171 mm y los máximos tamaños se registraron en el mes de octubre (otoño 2008) y los mínimos en agosto (verano 2009). En Tanzania la longitud que

presenta *A. spicifera* es de 200 mm (Olivera *et al* 2005). En el Caribe se han registrado longitudes de *A. spicifera* de más 250 mm (Littler *et al.*, 2000). Haciendo una comparación con los talos de la Bahía de la Paz estos son mucho más pequeños que los del Caribe y los del Océano Indico.

En Punta Roca Caimancito no se detectó una clara variación estacional en la longitud de esta especie como en otras regiones. Esta macroalga presentó mayores tamaños en otoño y mínimos en verano. En Hawái por ejemplo, se registra un pico máximo en verano y posteriormente una disminución en la longitud en el invierno. De hecho, se ha observado que durante el invierno el talo muestra signos de necrosis con una posibilidad mínima de adherirse a un sustrato y persistir (Tsuda *et al.*, 2008). En el oriente del Mar Árabe *A. spicifera* alcanza mayores longitudes durante la primavera (marzo) (Desai *et al.*, 2003).

A. spicifera es una de las algas más dominantes en la zona submareal de Punta Roca Caimancito. La biomasa de esta alga fue mayor en octubre 2008 con 15.70 kg/m² y la menor fue en Febrero 2009 con 1.33 kg/m². El decremento de la biomasa detectada en invierno posiblemente sea porque la disponibilidad de nutrientes en el verano es más elevada que en invierno (Reyes-Salinas *et al.*, 2003). Otras especies del mismo género como *A. nayadiformis* alcanza valores más altos de biomasa en el verano y otoño con una fuerte disminución en invierno. Por lo tanto en el Mediterráneo en esas estaciones *A. nayadiformis* es la especie más dominante entre la comunidad de algas submareales con un porcentaje aproximadamente del 40% (Cecere *et al.*, 2000).

En este estudio se observó que *A. spicifera* tenía células pericentrales y centrales. Las espinas son densas en forma ovalada y se encuentran en las extremidades del eje principal separadas una de otra. La longitud de las espinas va de 0.5 a 6 mm. Para los registros de la especie en el Caribe llegan a medir 0.55 mm de longitud (Littler *et al.*, 2000). En este sentido, algunos autores que han estudiado especies de este género señalan que si la espina está muy hinchada significa que puede haber esporas dentro de ella (Cecere *et al.*, 2002). En nuestro estudio no se observó esa fase, esto pudo ser porque ya había expulsado los gametos. En los cortes transversales se observó que las espinas contenían una cavidad vacía también puede ser que bajo estas condiciones ambientales la reproducción sexual no sea muy común.

En *A. nayadiformis* el número de espinas varía dependiendo de la longitud de la rama, es decir, entre más larga mayor es el número de espinas (Cecere *et al.*, 2002). Este mismo autor también menciona que las espinas están conformadas por células que crean tejidos y presentan de 3 a 5 espinas en la parte apical. Las plantas de *A. nayadiformis* se desarrollan a partir de espinas primordio que son más robustas y abundantes que el crecimiento monopodial (Cecere *et al.*, 2002). Lo más común es que los talos pueden transformarse en propágulos vegetativos. Las ramas pueden regenerarse a partir de cualquier parte del talo y formar nuevos talos sin necesidad de reproducirse sexualmente (Cecere *et al.*, 2002).

A. spicifera es un alga abundante en la zona submareal de Punta Roca Caimancito en donde forma parte de un pequeño complejo arrecifal, donde diversos organismos (flora y fauna) se benefician al obtener refugio y sustrato disponible (Tabla I y II). Dentro de las algas asociadas podemos encontrar especies del phylum Chlorophyta (verdes), Rhodophyta (rojas) y Heterokontophyta (marrón).

Se encontró también una gran cantidad de animales viviendo entre *A. spicifera* como son peces, esponjas, cnidarios, moluscos, artrópodos.

A. spicifera no solamente se encuentra en los arrecifes coralinos si no que también se puede encontrar asociada a los complejos ecosistemas de manglar (Barrios *et al.*, 2003). No obstante, en algunos ecosistemas coralinos de Hawái invadidos por *A. spicifera*, se ha detectado un impacto negativo ya que impide que los nutrientes y la luz solar lleguen a la comunidad coralina, lo que puede atraer ciertos problemas para las comunidades de animales y plantas que ahí viven (Martinez-Danaras, 2006).

En Punta Roca Caimancito los talos de *A. spicifera* se fragmentan fácilmente (incluso sin oleaje o corrientes fuertes) generando clones que se dispersan por medio de las corrientes como sucede en otras regiones (Kilar *et al.*, 1986). Esta característica ha favorecido la propagación de esta alga invasora por distintos sitios dentro de la Bahía de La Paz. O'Doherty *et al.*, 2007 mencionan que *A. spicifera* es una especie capaz de florecer aún por debajo del rango de las condiciones ambientales establecidas para esta especie y que no necesita un entorno especial para poder reproducirse asexualmente. A diferencia de la reproducción sexual que sí requiere de condiciones ambientales específicas que estimulen la producción de tetrasporangios (estructuras dentro de las cuales se producen tetrasporas) y que además implica mucho gasto energético. En las poblaciones de *A. spicifera* presentes en las Islas Hawaianas se ha sugerido que la historia de vida esta truncada ya que no se han observado gametofitos O'Doherty *et al.*, (2007). En Punta Roca Caimancito no se observaron los tetrasporofitos. Es decir se observaron los carposporangios pero vacíos o tal vez iniciando su desarrollo pero no viables.

Esta alga se ha esparcido rápidamente por la Bahía de La Paz y está presente todo el año (especie perene). Actualmente se encuentra distribuida a lo largo de 20 km en diferentes puntos de la costa este de la Bahía de La Paz. Contrario a lo que sucede con algas nativas como *Sargassum* que es anual, solamente vemos sus frondas (con mayor densidad y tamaño) durante el verano y durante el invierno solamente sobreviven los sujetadores y porciones de estipes, (Riosmena-Rodríguez *et al.*, 2009) o como *Porphyra* que solamente se presenta durante el periodo otoño-invierno (Smith, 2002).

X. CONCLUSIONES

1. *Acanthophora spicifera* es una especie perene que está presente durante todo el año en Punta Roca Caimancito y tolera un amplio rango de temperatura de 20 a 29 °C.
2. Los caracteres morfológicos que presenta *A. spicifera* de Punta Roca Caimancito son similares a los registrados por otros autores para otras regiones del mundo.
3. El principal modo de reproducción de *A. spicifera* es por vía asexual a través de la fragmentación y se presenta todo el año.
4. La reproducción sexual fue evidenciada por la presencia de carposporangios entre primavera y verano, sin embargo, estos nunca se observaron conteniendo carposporas.
5. *Acanthophora spicifera* presenta mayor tamaño durante el otoño y menor durante el verano.
6. El número promedio de ramificaciones en el talo de *A. spicifera* fue significativamente mayor en el periodo de otoño-invierno que en el verano.
7. El número máxima de espinas fue de 5.4 espinas cm⁻² y el mínimo fue de 3.9 espinas cm⁻².
8. El porcentaje de biomasa en peso húmedo de *A. spicifera* es mayor en otoño con 3.50 kg/m² y el menor fue en invierno con 0.59 kg/m².
9. El porcentaje de biomasa en peso seco de *A. spicifera* es mayor en otoño con 0.86 kg/m² y el menor fue en invierno con 0.0375 kg/m².
10. El impacto de *A. spicifera* en el área de estudio puede ser positivo para algunas especies de flora y fauna que se benefician de esta alga por obtener refugio y

alimentación, pero para el caso de las comunidades coralinas el impacto parece ser negativo ya que las altas densidades de esta alga pueden afectar la captación de luz y nutrientes y por lo tanto afectar su crecimiento.

XI. RECOMENDACIÓN

Como ya se ha mencionado *A. spicifera* es un alga invasora que ha invadido ecosistemas marinos en el Pacífico, y se ha demostrado que es un organismo altamente competitivo (por luz y nutrientes) con corales y algas nativas. También se ha señalado que compite por espacio con una gran diversidad de organismos sésiles. En este sentido, en Hawái se ha desarrollado una tecnología para extraer esta alga del área invadida. Es una maquina aspiradora llamada “Super Sucker”, la cual ha dado buenos resultados en el control de esta alga ya que puede extraer hasta 800 kg por hora. Posteriormente, estas algas invasoras se empaquetan en sacos y se entregan a los agricultores para su uso como fertilizante. Por lo tanto, se podría recomendar el uso de este tipo de máquinas para controlar las altas biomásas de *A. spicifera* en los sitios donde se encuentra distribuida en la Bahía de La Paz. Aunque también se recomienda evaluar primero el impacto de esta aspiradora para los demás organismos nativos asociados (National Geographic, 1996-2011; Ocean Power Magazine, 2011).



Figura 18. “Super Sucker” Aspiradora de algas invasivas en los arrecifes coralinos de Hawái (Ecofriend, 2011; Schrope, 2008).

XII BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR-ROSAS L. E., AGUILAR-ROSAS R., MENDOZA-GONZÁLEZ A.C. & MATEO-CID L.E. 2000. Marine algae from the Northeast Coast of Baja California, México. *Bot. Mar.* **43**: 127-139.
- AGUILAR-ROSAS L.E., AGUILAR-ROSAS R., MATEO-CID L.E. & MENDOZA-GONZÁLEZ A.C. 2002. Marine algae from the Gulf of Santa Clara, Sonora, México. *Hidrobiología* **00**: 1-9.
- ANDERSON J.W.L. 2005. California's reaction to *Caulerpa taxifolia* a model for an invasive species rapid response. *Biological Invasions* **7**: 1003-1016.
- BARRIOS J.M., MÁRQUEZ B. & JIMÉNEZ M. 2003. Macroalgas asociadas a *Rhizophora mangle* L. en el golfo de Santa Fe, Estado Sucre, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr.* **42**: 37-45.
- BLANCO-BETANCOURT R., PACHECO-RUIZ I., GUZMÁN-CALDERON J.M., ZERTUCHE-GONZÁLEZ J.A., CHEE-BARRAGAN A., MARTÍNEZ-DÍAZ DE LÉON A., GÁLVEZ-TÉLLEZ A. & LÓPEZ-VIVAS J.M. 2004. Base de datos de la temperatura del agua de mar en seis bahías de la costa noroccidental del Golfo de California, México. *Reporte Técnico*: 1-35.
- CARLTON T.J., THOMPSON K.J., SCHEMEL E.L. & NICHOLS H.F. 1990. Remarkable invasion of San Francisco Bay (California, USA) by the Asian clam *Potamocorbula amurensis*. I. Introduction and dispersal. *Mar.Ecol.Prog. Ser.* **66**: 81-94.
- CASAS-VALDEZ M.M., CRUZ-AYALA M.B. & LÓPEZ G.E. 1997. Algas marinas bentónicas más abundantes en La Bahía de La Paz, B. C. S. En: Urbán R.J. y Ramírez R.M. (eds). La Bahía de La Paz. Investigación y Conservación. UABCS-CICIMAR-SCRIPPS. México. 83-92.
- CECERE E., SARACINO O.D., FANELLI M. & PETROCELLI A. 2000. Phenology of two *Acanthophora najadiformis* (Rhodophyta, Ceramiales) Populations in the Ionian Sea (Mediterranean Sea). *Botanica Marina* **43**: 109-117.
- CECERE E. & PERRONE C. 2002. Morphology of *Acanthophora nayadiformis* (Ceramiales, Rhodophyta). *Phycologia* **41**: 523-532.
- CESAR H.S.J. 2002. Coral Reefs: Their Functions, Threats and Economic Value. *OceanDocs*: 14-39.
- CESAR H.S.J. & VAN BEUKERING P.F.H. 2004. Economic Valuation of the Coral Reefs of Hawai'i. *Pacific Science* **58**: 231-242.

- CESSEÑA-ARCE M.C. 2003. Fenología de *Padina caulescens* (Thivy) Taylor 1945 (Dictyotales: Phaeophyta) en la playa "Concha", B.C.S., México. In: *Biología Marina*, p. 43. UABCS, La paz.
- COLES L.S. 2006. Marine communities and introduced species in Pearl Harbor, O'AHU, HAWAII. In: *The Environment in Asia Pacific Harbours* (Ed. by E. WOLANSKI), pp. 207-228. Springer, AA Dordrecht, The Netherlands.
- COLLADO-VIDES L., J. GONZÁLEZ-GONZÁLEZ & E. EZCURRA 1995. Patrones de distribución ficoflorística del sistema lagunar de Nichupté, Quintana Roo, México. *Acta Botánica Mexicana*, México, **31**: 19-32.
- DAWSON E.Y. 1944. The marine algae of the Gulf of California. Allan Hancock Pacific Expedition. University of Southern California. E.U.A. V (3) 10. 452 pp.
- DAWSON E.Y. 1953. *Marine red algae of Pacific Mexico. Part I Bangiales to Corallinaceae Subf. Corallinaideae*, vol. 17. California. USA. 239 pp.
- DAWSON E.Y. 1966. "New records of marine algae from the Gulf of California" *Journal Arizona Academy of Sciences* **4**: 55-66.
- DE REVIERS B. 2003. *Biologie et phylogénie des algues*, vol. 2. Belin, Paris, FRANCE. 1-252 pp.
- DESAI V.V., KOMARPANT D.S. & JAGTAP T.G. 2003. Distribution and diversity of marine flora in coral reef ecosystems of Kadmat Island in Lakshadwee archipelago, Arabian Sea India. *ATOLL RESEARCH BULLETIN* **56**: 23.
- DOMMISSE M. & HOUGH D. 2004. Controlling the Northern Pacific Sea Star (*Asterias amurensis*) in Australia. Natural Heritage Trust. pp. 1-52.
- GODWIN L.S. 2003. Hull Fouling of Marine Vessels as a Pathway for Marine Species Invasions to the Hawaiian Islands. *Biofouling* **19**: 123-131.
- HARRIES B.D., COOK E., DONNAN W.D., MAIR M.J. & HARROW S. 2007. The establishment of the invasive alga *Sargassum muticum* on the west coast of Scotland: Rapid northwards spread and identification of potential new areas for colonisation. *Aquatic Invasions* **2**: 367-377.
- HOWE M.A. 1911. Phycological studies V. Some marine algae of Lower California, México. *Torrey Botanical Club* **38**: 489-514
- JOHNSON C.R. & CHAPMAN A.R.O. 2007. Seaweed invasions: introduction and scope *Botanica Marina* **50**: 321-325.

- KHAN S.I. & SATAM S.B. 2003. Seaweed Mariculture: Scope and Potential in India. *Aquaculture Asia* **8**: 27-29.
- KILAR J.A. & MCLACHLAN J. 1986. Ecological studies of the alga, *Acanthophora spicifera* (Vahl) Børg. (Ceramiales: Rhodophyta): vegetative fragmentation. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol* **104**: 1-21.
- LEE R.E. 2008. *Phycology*, USA. 547 pp.
- LITTLER D.S. & LITTLER M.M. 2000. *Caribbean reef plants. An identification guide to the reef plants of the Caribbean, Bahamas, Florida and Gulf of Mexico*. Offshore Graphics Inc., Washington. 542 pp.
- MATEO-CID L.E, SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ I., RODRÍGUEZ-MONTESINOS Y.E. & CASAS-VALDEZ MA. M. 1993. Estudio florístico de las algas bentónicas de Bahía Concepción, B.C.S., México. *Ciencias Marinas* **19**:41-60.
- MATEO-CID L.E. & MENDOZA-GONZÁLEZ A.C. 1994. Algas marinas bentónicas de Todos Santos, Baja California Sur, México. *Acta Botanica Mexicana* **29**: 31-47.
- MARTIN P.J. & BASTIDA R. 2008. El alga invasora *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar en la Ría Deseado (Patagonia austral, Argentina): ciclo del esporofito y factores ambientales determinantes de su distribución. *Biología Marina y Oceanografía* **43**: 335-344.
- MARTÍNEZ-DARANAS B. 2006. *Macroalgas y fanerógamas marinas asociadas a los manglares*. Editorial Academia, La Habana. 329 pp.
- MARTÍNEZ-LOZANO S., BERNAL-FEMATT R.J. & ESCALANTE-CAVAZOS M.A. 1991. Algas marinas en algunas localidades de Baja California Sur, Sinaloa y Sonora México. *Biotam*. **3**: 15-24.
- MENDOZA-GONZÁLEZ A.C. & MATEO-CID L.E. 1986. Flora marina bentónica de la costa noroeste de estado de Sonora, México. *Phytologia* **60**: 414-427.
- MUMFORD T.F. & MIURA A. 1988. Porphyra as food: cultivation and economics. In: *Algae and Human Affairs* (Ed. by C.A. LEMBI & J.R. WAALAND), pp. 87-117. Cambridge University Press, New York.
- NAIM O. 1993. Seasonal responses of a fringing reef community to eutrophication (Reunion Island, Western Indian Ocean). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **99**: 137-151.
- NORRIS J.N. 1972. "Marine algae of the 1969 cruise of MAkrele to the northern of California". *Boletín Sociedad Botánica de México* **32**: 1-29.

- NORRIS J.N. 1975. Marine algae of northern Gulf of California In: *Marine Botany*, p. 575. California, Berkeley.
- OBESO-NIEBLAS M., SHIRASAGO-GERMÁN B., GAVIÑO-RODRÍGUEZ J., PEREZ-LEZAMA E., OBESO-HUERTA H. & JIMÉNEZ-ILLESCAS A. 2008. Variabilidad hidrológica en Bahía de La Paz, Golfo de California, México (1995-2005). *Biología Marina y Oceanografía* **43** 559-567.
- O'DOHERTY D.C. & SHERWOOD A.R. 2007. Genetic Population Structure of the Hawaiian Alien Invasive Seaweed *Acanthophora spicifera* (Rhodophyta) as Revealed by DNA Sequencing and ISSR Analyses. *Pacific Science* **61**: 223-233.
- OLIVIERA C.E., OSTERLUNG K. & MTOLERA S.D. 2005. *Marine plants of Tanzania, a field guide to the seaweeds and seagrasses*. Stockholm University, Stockholm. 267 pp.
- PAUL-CHAVEZ L & RIOSMENA-RODRÍGUEZ R. 2000. Floristic and biogeographical trends in seaweed assemblages from a subtropical insular Island Complex in the Gulf of California. *Pacific Science* **54**: 137-147.
- PERRONE C., CECERE, E. & FURNARI, G. 2006. Growth pattern assessment in the genus *Acanthophora* (Rhodophyta, Ceramiales) *Phycologia* **45**: 37-43.
- PICKERING D.T., SKELTON P. & SULU J.R. 2007. Intentional introductions of commercially harvested alien seaweeds. *Botanica Marina* **50**: 338-350.
- QUIRÓS-RODRÍGUEZ J.A., ARIAS-RÍOS J.E. & RUIZ-VEGA R. 2010. Estructura de las comunidades macroalgales asociadas al litoral rocoso del departamento de Córdoba, Colombia. *Caldasia* **32**: 339-354.
- REYES-SALINAS A., CERVANTES-DUARTE, R., MORALES-PÉREZ, A.R. & VALDEZ-HOLGUÍN, E.J. 2003. Variabilidad estacional de la productividad primaria y su relación con la estratificación vertical en la Bahía de la Paz, B. C. S. *Hidrobiología* **13**: 103-110.
- RIOSMENA-RODRIGUEZ R., RUIZ G. & HERNÁNDEZ-KANTÚN J. 2009. Invasión de algas exóticas en el Golfo de California, Amenaza para el ambiente y la economía regionales. In: *Análisis Periodísticos B.C.S*, pp. 25-26, La Paz B.C.S.
- RODRÍGUEZ-MORALES E.O. & SIQUEIROS-BELTRONES D.A. 1999. Time variations in a subtropical macroalgal assemblage from the Mexican Pacific. *Oceanides* **13**(2), 14(1): 11-24.
- RUSSELL K.L., HEPBURN D.C., HURD L.C. & STUART D.M. 2008. The expanding range of *Undaria pinnatifida* in southern New Zealand: distribution, dispersal

- mechanisms and the invasion of wave-exposed environments. *Biol Invasions* **10**: 103-115.
- RUSSELL D.F., BALAZS G.H., PHILLIPS R.C. & KAM A.H.K. 2003. Discovery of the Sea Grass *Halophila decipiens* (Hydrocharitaceae) in the diet of Hawaiian Green Turtle, *Chelonia mydas*. *Pacific Science* **57** (4): 393-397.
- SAX F.D., STACHOWICZ J.J. & GAINES D.S. 2005. *Species Invasions, Insights into ecology, evolution and biogeography*. U.S.A. 495 pp.
- SCHAFFELKE B., SMITH E.J. & HEWITT L.C. 2006. Introduced macroalgae – A growing concern. *Journal of Applied Phycology* **18**: 529-541.
- SCHAFFELKE B. & HEWITT C.L. 2007. Impacts of introduced seaweeds. *Botanica Marina* **50**: 397-417.
- SERVIERE-ZARAGOZA E., COLLADO-VIDES L. & GONZÁLEZ-GONZÁLEZ J. 1992. Caracterización ficológica de la Laguna de Bojórquez, Quintana Roo, México. *Caribbean Journal of Science* **28**: 126-133.
- SERVIERE-ZARAGOZA E., GONZÁLEZ-GONZÁLEZ J. & RODRÍGUEZ-VARGAS D. 1993. Ficoflora de la región de Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit. En: Salazar-Vallejo S.I. y González N.E. (eds.). Biodiversidad marina y costera de México. CONABIO y CIQRO, Chetumal. México. 475-485 pp.
- SERVIERE-ZARAGOZA E., CASTILLO-ARGUERO S. & GONZÁLEZ-GONZÁLEZ J. 1998. Descripción ficológica de los ambientes de la región de Bahía de Banderas, Nayarit-Jalisco, México. *Boletín IBUG* **5**: 157-180.
- SETCHELL W.A. & GARDNER N.L. 1924. Expedition of the California Academy of sciences to the Gulf of California in 1921. New Marine Algae from the Gulf of California. **11**: 695-949.
- SHIGANOVA T.A. 1998. Invasion of the black sea by the ctenophore *Mnemiopsis leidyi* and recent changes in pelagic community structure. *Fish. Oceanogr.* **7**: 305-310.
- SOKAL R.R. & ROHLF F.J. 1995. *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. W. H. Freeman & Co, New York. 887 pp.
- SMITH J.E., HUNTER C.L. & SMITH C.M. 2002. Distribution and reproductive characteristics of Nonindigenous and Invasive Marine Algae in the Hawaiian Islands. *Pacific Science* **56**: 299-315.

- TROWBRIDGE D.C. 1999. An assessment of the potential spread and options for control to introduced green macroalga *Codium fragile* ssp. *Tomentosoides* on Australian Shores. *CSIRO Marine Research*: 1-43.
- TSUDA R.T., COLES S.L., GUINTEHER E.B., FINLAY O., ANDREW R. & HARRIS F.L. 2008. *Acanthophora spicifera* (Rhodophyta: Rhodomelaceae) in the Marshall Islands. *Micronesica* **40**: 245-252.
- VALENTIN J.P. & JOHNSON C.R. 2003. Establishment of the introduced Kelp *Undaria pinnatifida* in Tasmania depends on disturbance to native algal assemblages. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol* **295**: 63-90.
- WALTERS J.L., SMITH M.C., COYER A.J., HUNTER L.C., BEACH S.K. & VROOM S.P. 2002. Asexual propagation in the coral reef macroalga *Halimeda* (Chlorophyta, Bryopsidales): production, dispersal and attachment of small fragments. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **278**: 47-65.
- WEIJERMAN M., MOST R., WONG K. & BEAVERS S. 2008. Attempt to Control the Invasive Red Alga *Acanthophora spicifera* (Rhodophyta: Ceramiales) in a Hawaiian Fishpond: An Assessment of Removal Techniques and Management Options. *Pacific Science* **62**: 517-532.
- WORK M.T., RAMEYER A.R., TAKATA G. & KENT L.M. 2003. Protozoal and epitheliocystis-like infections in the introduced bluestripe snapper *Lutjanus kasmira* in Hawaii. *Dis Aquar Org* **57**: 59-66.
- ZAR J.H. 1999. *Biostatistical analysis*. Prentice Hall, New Jersey, E.U.A. 663 pp.

XIII. BIBLIOGRAFÍA ELECTRÓNICA

- ECOFRIEND. 2005. Super Sucker: New machine to remove alien algae efficiently from ocean. Published by The Instablogs Network, Citizen Media Pvt. Ltd. Copyright © Instablogs Network. <http://www.ecofriend.org/entry/super-sucker-new-machine-to-remove-alien-algae-efficiently-from-ocean/>. Consultada 3 enero de 2011.
- FAO. 2010. Status of World fisheries and aquaculture. Food and Agricultural Organization of United Nations. (2002). Rome, Italy. Revisada Abril 2010. www.fao.org
- GUIRY M.D. & GUIRY G.M. 2010. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>; Consultado en 03 March 2010.
- NATIONAL GEOGRAPHYC. 1996-2011. "Super Suckers" Slurp Invasive Algae Off Reefs. National Geographyc Society. <http://news.nationalgeographic.com/news/2007/07/070730-super-sucker.html>. Consultada 3 de enero de 2011.
- SCHROPE M. 2008. Giant vacuum cleaner leaves reefs thriving. New Scientist. Reed Business Information Ltd. <http://www.newscientist.com/article/dn14300-giant-vacuum-cleaner-leaves-reefs-thriving.html>. Consultada 3 de enero de 2011.
- OCEAN POWER MAGAZINE. 2011. Saving Hawaii's Coral Reefs with the Super Sucker!. Designed by Gabfire themes. <http://www.oceanpowermagazine.net/2009/06/24/saving-hawaiiis-coral-reefs-with-the-super-sucker/>. Consultada 3 de enero de 2011.

XIV. ANEXOS

Tabla II. ANDEVA de Longitud promedio mensual de los talos de *A. spicifera*.

Fuente Variables	gl	H cal	H cri	P
Longitud por Mes	11	102.589	21.03	<0,001

Tabla III. ANDEVA del número promedio de ramificaciones por talo de *A. spicifera*.

Fuente Variables	gl	SC	CM	F	P
Entre Meses	1	0,0817	0,0817	0,0695	0,795
Residual	22	25,847	1,175		
Total	23	25,928			

Tabla IV. Peso humedo mensual en g/cm² de *A. sicifera*, datos estrapolados al area que cubre el manto (3.16 ha).

Peso Humedo	Oct 2008	Nov 2008	Ene 2009	Feb 2009	Mar 2009	Abr 2009	May 2009	Jun 2009	Jul 2009	Ago 2009	Sep 2009	Oct 2009
g/cm²	211.26	215.39	55.88	38.12	130.72	116.39	116.05	124.91	154.93	39.87	52.92	65.04
kg/m²	3.30	3.50	0.89	0.59	2.09	1.86	1.85	1.99	2.47	0.64	1.36	1.04
kg/ha	33801.44	35037.57	8940.72	5923.40	20914.65	18622.94	18567.20	19985.26	24788.19	6378.99	13606.26	10406.96
Ton/ha	33.80	35.03	8.94	5.92	20.91	18.62	18.56	19.98	24.78	6.37	13.60	10.40
Ton Total	106.81	110.71	28.25	18.71	66.09	58.84	58.67	63.15	78.33	20.15	42.99	32.88

Tabla V. Peso seco mensual en g/cm^2 de *A. sicifera*, datos estrapolados al area que cubre el manto (3.16 ha).

Peso Seco	Oct 2008	Nov 2008	Ene 2009	Feb 2009	Mar 2009	Abr 2009	May 2009	Jun 2009	Jul 2009	Ago 2009	Sep 2009	Oct 2009
g/cm^2	12.47	15.70	2.38	1.33	11.10	10.43	10.94	8.98	13.41	2.66	5.23	5.38
kg/m^2	0.25	0.26	0.04	0.04	0.18	0.17	0.18	0.14	0.21	0.43	0.84	0.86
kg/ha	2512.31	2570.67	380.14	375.21	1775.59	1668.85	1750.54	1437.43	2085.68	425.28	837.15	860.75
Ton/ha	2.51	2.57	0.38	0.37	1.77	1.66	1.75	1.43	2.08	0.42	0.83	0.86
Ton total	7.93	8.12	1.20	1.18	5.61	5.27	5.53	4.54	6.59	1.34	2.64	2.71

Tabla VI. ANDEVA peso seco mensual de *A. sicifera*.

Fuente Variables	gl	H cal	H cri	P
Mes	11	64,820	21.03	<0,001

Tabla VII. Peso seco de la flora y fauna mensual en g/cm^2 de *A. sicifera*, datos estrapolados al área que cubre el manto (3.16 ha).

Flora y Fauna	Oct 2008	Nov 2008	Ene 2009	Feb 2009	Mar 2009	Abr 2009	May 2009	Jun 2009	Jul 2009	Ago 2009	Sep 2009	Oct 2009
g/cm^2	2.00	2.07	6.30	6.30	0.00	0.00	0.00	4.63	9.20	8.80	12.40	5.00
kg/m^2	0.03	0.03	0.10	0.05	0.00	0.00	0.00	0.07	0.15	0.14	0.20	0.08
kg/ha	318.40	331.20	1006.40	544.00	0.00	0.00	0.00	739.20	1472.00	1408.00	1984.00	800.00
Ton/ha	0.32	0.33	1.01	0.54	0.00	0.00	0.00	0.74	1.47	1.40	1.98	0.80
Ton total	1.01	1.05	3.18	1.72	0.00	0.00	0.00	2.34	4.65	4.45	6.27	2.53

HISTORIA DE VIDA

La historia de vida de *Acanthophora spicifera* está formada por ciclos trifásicos observados principalmente en Floriideophyceae, su historia de vida es similar al grupo de las Ceramiales. La reproducción sexual es una forma de oogamia en donde la célula espermática (inmóvil) y las carpogonias son retenidas sobre el gametofito femenino. El tetrasporofito posee células especializadas células madres de la tetraspora que sufren meiosis y producen tetrasporas haploides. Después de ser liberadas y germinadas las tetrasporas se desarrollan en los gametofitos masculinos y femeninos (haploides) de vida libre. El gametofito masculino maduro produce células espermatangiales que dan lugar a espermacios. El gametofito femenino produce células especializadas llamadas carpogonias, que se forman a partir de células vegetativas llamadas carpogoniales. El carpogonio posee una estructura alargada en forma de filamento llamada tricogino. La fecundación se produce después de que un espermacio se ha fijado a un tricógino del carpogonio y su núcleo ha descendido hasta este último y se ha fusionado con el núcleo de la célula huevo. El cigoto comienza una serie de divisiones mitóticas que concluyen en la producción de una pequeña masa de células diploides firmemente unidas al gametofito femenino (haploide). El grupo de células diploides se conoce como carposporofito y es la primera fase diploide. El resultado es que de una fecundación se desarrollan varios carposporofitos. Cada uno de estos produce muchas carposporas diploides que posteriormente crecen en nuevos tetrasporofitos. Estos carposporofitos pueden ser rodeados por filamentos producidos por el gametofito femenino y este cercamiento se conoce como pericarpo. La combinación entre pericarpo y carposporofito se conoce como cistocarpo.

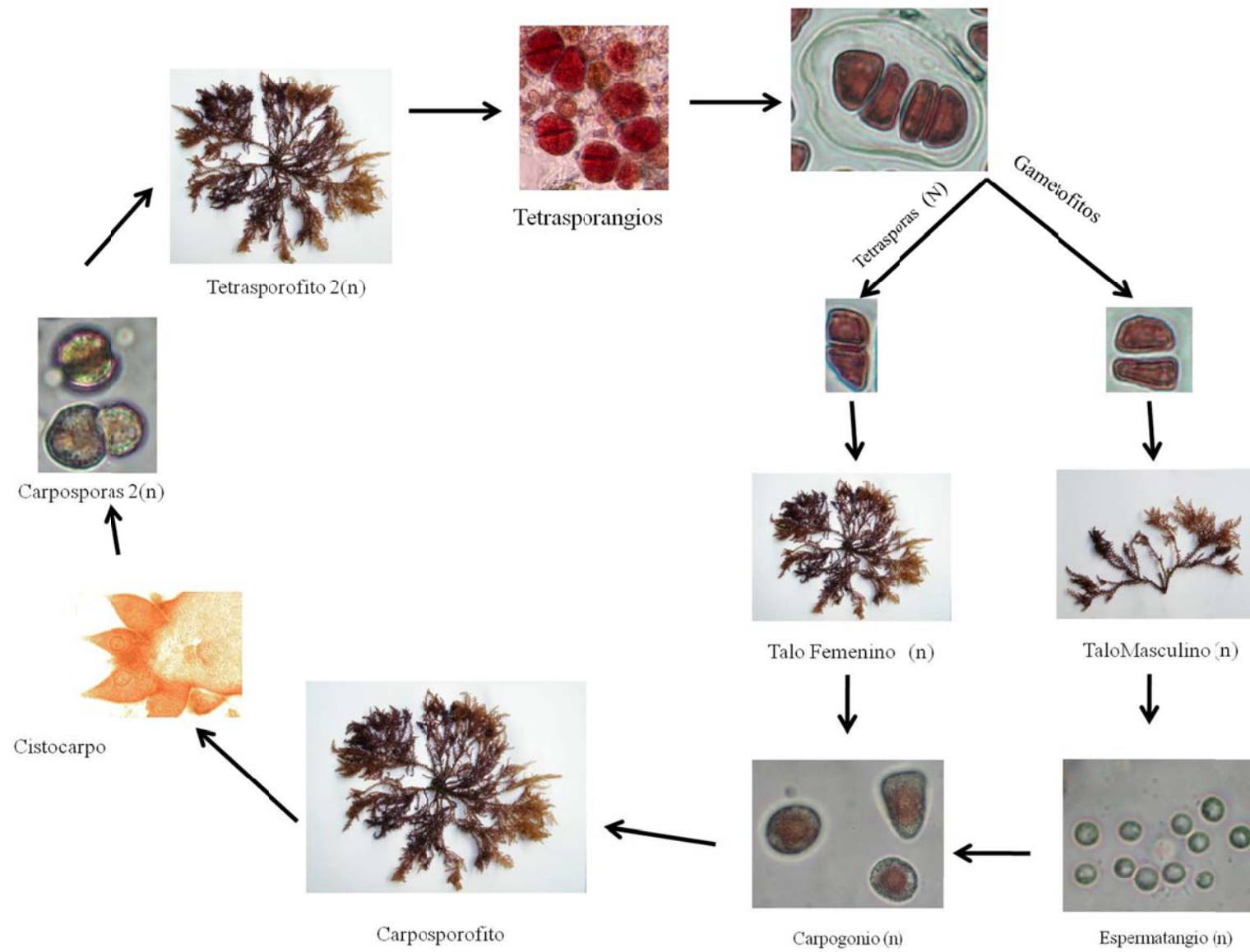


Figura 19. Historia de vida de *Acanthophora spicifera*.