

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y
AGROPECUARIAS



Estudios *ex situ* de Productividad Primaria en corales hermatípicos, *Porites panamensis*, Verrill 1866, y *Pocillopora capitata*, Verrill, 1864, en la costa de Jalisco

**TRABAJO DE TITULACIÓN EN LA MODALIDAD DE
TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN BIOLOGÍA

**PRESENTA
MARIEL TORRES ORTIZ**

**DIRECTOR(A): M. C. ELVA GUADALUPE ROBLES JARERO
ASESOR: Dr. ERNESTO LÓPEZ URIARTE**

Las Agujas, Zapopan, Jal., Junio 2013



Universidad de Guadalajara
Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
Coordinación de Carrera de la Licenciatura en Biología

COORD. BIOL. 006/2013

C. MARIEL TORRES ORTÍZ
PRESENTE

Manifiestamos a usted, que con esta fecha, ha sido aprobado su tema de titulación en la modalidad de **TESIS E INFORMES** opción: **TESIS**, con el título "**Estudios ex situ de Productividad Primaria en corales hermatípicos, *Porites panamensis*, Verril, 1866 y *Pocillopora capitata*, Verril, 1864, en la costa de Jalisco**", para obtener la Licenciatura en Biología.

Al mismo tiempo le informamos, que ha sido aceptado como director(a) de dicho trabajo a **M. C. Elva Guadalupe Robles Jarero**, y como asesor al **Dr. Ernesto López Uriarte**.

Sin más por el momento, aprovechamos para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"PIENSA Y TRABAJA"

Las Agujas, Nextipac, Zapopan, Jal., 16 de enero, del 2013.

DRA. TERESA DE JESÚS ACEVES ESQUIVIAS
PRESIDENTE DEL COMITÉ DE TITULACIÓN



COORDINACIÓN DE LA CARRERA DE
LICENCIATURA EN BIOLÓGICA

Verónica Palomera Cto.
M.C. VERÓNICA PALOMERA AVALOS
SECRETARIO DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

Dra. Lucila Méndez Moran,
 Presidente del Comité de Titulación,
 Licenciatura en Biología,
 CUCBA,
 Presente

Nos permitimos informar a usted que habiendo revisado el trabajo de titulación, modalidad Tesis, opción Tesis e informes con el título: "Estudios ex situ de Productividad Primaria en corales hermatípicos, *Porites panamensis*, Verril 1866, y *Pocillopora capitata*, Verril, 1864, en la costa de Jalisco" que realizó la pasante Marisel Torres Ortiz con número de código 303798836 consideramos que ha quedado debidamente concluido, por lo que ponemos a su consideración el escrito final para autorizar su impresión.

Sin otro particular quedamos de usted con un cordial saludo.

Atentamente
 Las Agujas, Zapopan, Jalisco 19 de marzo 2013
 Lugar y fecha.



Firma

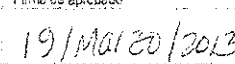
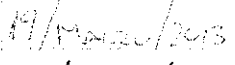
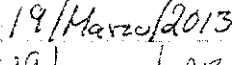
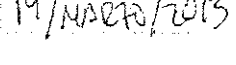
Nombre M.C. Elva Guadalupe Robles Jarero

Nombre Dr. Ernesto López Uriarte

Directora

Asesor



Nombre completo de los Sinodales asignados por el Comité de Titulación	Firma de aprobado	Fecha de aprobación
Dr. Eduardo Ríos Jara		19/MARZO/2013
M.C Cristian Moisés Galván Villa		19/MARZO/2013
M.C. Martín Pérez Peña		19/MARZO/2013
Supl. Dr. Ernesto López Uriarte		19/MARZO/2013

Proyecto financiado por Coecytjal: "Estimación de la productividad primaria y biomasa del fitoplancton, manglar y un arrecife coralino, de la costa central de Jalisco" clave 06-2009-947

Agradecemos el apoyo y las facilidades otorgadas a Laboratorio de Acuicultura, Departamento para el Desarrollo Sustentable de Zonas Costeras, Centro Universitario Costa Sur, San Patricio, Melaque, Jal.

AGRADECIMIENTOS

A mi Directora la M en C Elva Guadalupe Robles Jarero por su apoyo en todo momento, comprensión, sus consejos para la realización de este trabajo y la confianza en mi depositada.

A mi Asesor el Dr. Ernesto López Uriarte por su apoyo, durante la elaboración de este trabajo.

Al M.C. Arnulfo Hernández Díaz, por su ayuda en la realización de este experimento, Laboratorio de Acuicultura, Departamento para el Desarrollo Sustentable de Zonas Costeras, Centro Universitario Costa Sur, San Patricio, Melaque, Jal.

DEDICATORIAS

Al profesor Raymundo Ramírez Delgadillo “Ray” que me enseñó que hay que apasionarse por todo lo que guste en la vida †

A mi abuelita que siempre estuvo pendiente de mí y mis estudios †

A mi mamá que siempre me ha apoyado y creído en mí, que ha sido mi fortaleza y mi guía en cada parte de mi vida.

A mi papa y hermana, por ayudarme y hacerme sonreír cada momento.

A mis amigos Paulina, Osiris, Laura, e Isaías que estuvieron a mi lado en todo momento.

En paz.

Muy cerca de mi ocaso, yo te bendigo, vida,
porque nunca me diste ni esperanza fallida,
ni trabajos injustos, ni pena inmerecida;

porque veo al final de mi rudo camino
que yo fui el arquitecto de mi propio destino;

que si extraje las mieles o la hiel de las cosas,
fue porque en ellas puse hiel o mieles sabrosas:
cuando planté rosales, coseché siempre rosas.

...Cierto, a mis lozanías va a seguir el invierno:
¡mas tú no me dijiste que mayo fuese eterno!

Hallé sin duda largas las noches de mis penas;
mas no me prometiste tan sólo noches buenas;
y en cambio tuve algunas santamente serenas...

Amé, fui amado, el sol acarició mi faz.
¡Vida, nada me debes! ¡Vida, estamos en paz!

Amado Nervo.

INDICE

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS	ii
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
ANTECEDENTES	6
JUSTIFICACIÓN	9
OBJETIVOS	10
Objetivo General	10
Objetivos Particulares	10
HIPÓTESIS	11
DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	12
MATERIALES Y MÉTODOS	14
RESULTADOS	17
Parámetros fisicoquímicos del sistema de incubación	17
Producción primaria	18
Balance metabólico	23
Biomasa animal en superficie viva y pigmentos fotosintéticos	26
DISCUSIÓN	30
CONCLUSIÓN	35
LITERATURA CITADA	36
ANEXOS	46

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Figura 1. Ubicación de las Bahías de Chamela y Tenacatita en la costa centro-sur de Jalisco	13
Figura 2. <i>Porites panamensis</i>	14
Figura 3. <i>Pocillopora capitata</i>	14
Figura 4. Cámaras respirométricas dentro del sistema.....	15
Figura 5. Camaras respirometricas sin tapa.....	15
Figura 6. Corte de fragmento de corales.....	16
Figura 7. Centrifugado de sobrenadante.....	16
Figura 8. Curva de liberación de O ₂ durante 72 h para <i>Porites panamensis</i>	21
Figura 9. Curva de liberación de O ₂ durante 72 h para <i>Pocillopora capitata</i>	22
Figura 10. Valores nocturnos de oxígeno disuelto correspondientes a la respiración en <i>P. panamensis</i>	23
Figura 11. Valores nocturnos de oxígeno disuelto correspondientes a la respiración en <i>P. capitata</i>	24
Figura 12. Modelo del balance metabólico de la taxocenosis en <i>P. panamensis</i> . Pb = producción bruta, Pn = productividad neta, r = cuota de respiración, F=Tasa fotosintética.....	25
Figura 13. Modelo del balance metabólico de la taxocenosis en <i>P. capitata</i> Pb = producción bruta, Pn = productividad neta, r = cuota de respiración, F=Tasa fotosintética.....	25
Figura 14. Distribución promedio de pigmentos fotosintéticos en <i>Porites panamensis</i>	28
Figura 15. Distribución promedio de pigmentos fotosintéticos en <i>Pocillopora capitata</i>	29
Tabla 1. Valores promedio de irradianza, temperatura, salinidad y pH durante las incubaciones.....	17
Tabla 2. Valores promedio de oxígeno disuelto (mg.O ₂ l ⁻¹ hr ⁻¹) por colonia en cada periodo de incubación para <i>Porites panamensis</i>	19
Tabla 3. Valores promedio de oxígeno disuelto (mg.O ₂ l ⁻¹ hr ⁻¹) por colonia en cada periodo de incubación para <i>Pocillopora capitata</i>	19
Tabla 4. Prueba de comparacion de Tukey's de liberacion de oxigeno entre colonias en <i>P. capitata</i>	20

Tabla. 5 Biomasa en superficie viva, número de pólipos, productividad bruta (máx-min) media y desviación estándar en fragmentos de *Porites panamensis*. 26

Tabla. 6 Biomasa en superficie viva, número de pólipos, productividad bruta (máx-min) media y desviación estándar en fragmentos de *Pocillopora capitata*..... 27

RESUMEN

Se estimó la productividad primaria de dos especies de corales hermatípicos *Porites panamensis* y *Pocillopora capitata*, durante el mes de noviembre del 2011 en la costa de Jalisco, por medio de incubaciones en cámaras respirométricas durante 72 h continuas. Se establecieron periodos de dos horas de incubación con una hora de pausa, y se tomaron las siguientes variables: oxígeno disuelto, temperatura, salinidad, irradianza y pH. Se examinó la biomasa de superficie viva, número de pólipos y proporción de pigmentos fotosintéticos de cada ejemplar de las dos especies. Se determina el diferencial de respiración fotosíntesis durante periodos de luz y oscuridad en dos especies de coral. Se registró una máxima productividad de $2.4 \text{ mg}\cdot\text{O}_2\cdot\text{l}^{-1}\cdot\text{hr}^{-1}$ para *P. panamensis* y $6.1 \text{ mg}\cdot\text{O}_2\cdot\text{l}^{-1}\cdot\text{hr}^{-1}$ para *P. capitata* la proporción de pigmentos fotosintéticos fue de: 1:0.10:0.93 *Cla*, *c1-c2* y carotenos para *P. panamensis* y 1:0.072:0.37 *Cla*, *c1-c2* y carotenos para *P. capitata* las dos especies mostraron un comportamiento de autótrofia en el sistema lo cual indica que a nivel local tienen la función de ser sumideros de carbono.

INTRODUCCIÓN

Los corales hermatípicos, pétreos o formadores de arrecifes pertenecen al phylum Cnidaria, clase Anthozoa y orden Scleractinia. Conforman estructuras masivas de gran biodiversidad en profundidades someras de los mares tropicales y subtropicales. Los arrecifes coralinos se consideran uno de los ecosistemas más espectaculares, diversos, productivos y vulnerables del océano, siendo comparables en diversidad biológica con las selvas tropicales y los bosques de niebla (Connell, 1978; Veron, 1986; Rupert y Barnes, 1996).

Los corales pétreos poseen gran importancia económica, social y ambiental. Son capaces de producir un exoesqueleto externo de carbonato de calcio (CaCO_3) en forma de aragonita, conformando estructuras arrecifales (Veron, 2000; Sánchez *et al.*, 2005), que estabilizan la línea de costa (Crossland *et al.*, 1991) y hospedan a una gran diversidad de organismos, proporcionándoles alimento y refugio contra depredadores. Estas interacciones, proporcionan a los arrecifes coralinos un atractivo visual importante para realizar actividades recreativas y científicas.

La permanencia de los corales hermatípicos ha sido posible gracias a la relación simbiótica que mantienen los pólipos coralinos con las "zooxantelas" (algas del género *Symbiodinium*) (Jackson 2001; Sánchez *et al.*, 2005). Las zooxantelas son capaces de utilizar el proceso de la fotosíntesis para capturar la energía del sol derivándola en materia orgánica al tejido del coral y contribuyen a remover productos de desecho que serían potencialmente tóxicos para el coral, como el dióxido de carbono (CO_2) y algunos fosfatos y nitratos. A cambio, las algas simbiotes tienen un lugar seguro donde vivir libre de depredadores y reciben por parte del coral, nutrientes indispensables para su crecimiento (López-Pérez, 2002). En los espacios entre los pólipos y la base de carbonato de calcio (CaCO_3) de los corales hermatípicos, existe otro componente vegetal formado por una red de algas verdes filamentosas (zooclorelas) que ocupan los espacios ubicadas bajo las superficies transparentes de aragonita también precipitada por los pólipos de coral (Odum & Odum, 1955).

La principal forma de alimentación de los corales es autótrofa, sin embargo, también son animales heterótrofos carnívoros (Edmunds y Davies, 1986, López-Pérez, 2002). Durante la noche, los pólipos coralinos se alimentan de zooplancton, fijando fosfatos y nitratos, los cuales son reciclados enseguida entre los pólipos y las algas. Este proceso permite crecer a los corales más rápidamente, antes de ser erosionados por procesos físicos o biológicos (Goreau *et al.*, 1979; Veron, 1986, 2000). De igual manera pueden ingerir partículas en suspensión y bacterias (Edmunds y Davies, 1986).

Productividad Primaria.

La cantidad de materia orgánica o tejido que se acumula en un organismo autótrofo durante un tiempo determinado a través de la fotosíntesis, es denominada producción primaria (Lalli y Parsons, 1997). En los ecosistemas, se puede definir como la rapidez con la que la energía radiante se transforma en sustancias orgánicas por acción fotosintética o quimiosintética de organismos productores (Odum, 1971), siendo importante reconocer los siguientes pasos sucesivos en el proceso de producción:

1.- Productividad primaria bruta (*PPB*) es la tasa fotosintética global, en la que se incluye la materia orgánica usada en la respiración durante el periodo medido. Esto es también conocido como "Fotosíntesis total" o "Asimilación total" (Odum, 1985).

2.- Productividad primaria neta (*PPN*) es la tasa de almacenamiento de materia orgánica en los tejidos vegetales, como resultado de un exceso de producción respecto al consumo respiratorio durante el periodo que se mide. Esto se llama "Fotosíntesis aparente" o "Asimilación neta" (Odum, 1985).

La respiración es un proceso inverso en donde existe una reacción oxidativa que rompe los enlaces de carbohidratos de alta energía y libera la energía necesaria para el metabolismo. Todos los organismos, incluyendo las plantas, llevan a cabo respiración, tanto en periodos de luz como de oscuridad (Lalli y Parsons, 1997).

Las estimaciones de productividad primaria en los arrecifes de coral, se han efectuado mediante métodos no fisiológicos que evalúan la biomasa o el volumen de organismos y fisiológicos basados en asimilación de CO_2 a través de los cambios de oxígeno (Garrigue, 1987). Los registros de productividad neta en un arrecife de coral

varían entre 1500 y 5000 $\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$ y contrastan con los 10-15 $\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$ del océano circundante, siendo considerados oasis de producción en un mar pobre en nutrientes (Lalli y Parsons, 1997).

Balance metabólico

Lo más relevante entre la asociación alga-coral radica en que el oxígeno y los compuestos de carbono (glicerol, alanina, lípidos y ácidos grasos) que son sintetizados por las zooxantelas presentes en el tejido del coral durante la exposición a la luz, son transferidos a las células del coral (Davies, 1991) y también son utilizados nutrimentos esenciales para su propio crecimiento (Mcloskey *et al.*, 1978; Lalli y Parsons, 1997). De esta manera, contribuyen en su nutrición, respiración, crecimiento y reproducción (Crossland *et al.*, 1980, Davies, 1984, López-Pérez, 2002), siendo capaces de proveer hasta el 100% de sus requerimientos metabólicos diarios (Muscatine *et al.*, 1984).

La fijación fotosintética de CO_2 y la precipitación de carbonato de calcio (CaCO_3) están íntimamente relacionadas a escalas espaciales (desde nivel celular hasta el ecosistémico), y a escalas temporales (e.g. noche y día) (Gattusso, *et al.*, 1999). El metabolismo orgánico (Fotosíntesis y respiración) y el inorgánico (precipitación y disolución de CaCO_3) son dos de los mayores procesos biológicos que afectan el ciclo biogeoquímico del carbono en los ecosistemas marinos. Los corales scleractinios, algas calcificantes, se exponen a un incremento de carbonato de calcio durante periodos diurnos (como ocurre en la fotosíntesis) (Smith & Buddemeier 1992).

Biomasa

La biomasa se define como el peso total (número total por peso promedio) de todos los organismos en un área o volumen dado (Lalli y Parsons, 1997). En estimaciones de microalgas planctónicas, la biomasa es determinada por la cantidad de clorofila-*a* presente en un volumen de agua o en la columna de agua por metro cuadrado. El contenido de clorofila-*a* de comunidades enteras naturales se ha examinado activamente, ya que puede proporcionar un índice de su productividad (Odum, 1971).

Un arrecife de coral saludable puede contener millones de algas simbiotas por m². Sin embargo, su biomasa total relativamente pequeña sugiere que estos simbiotas representan especies clave de los arrecifes de coral y tal vez los únicos protistas que tienen la capacidad de desempeñar este papel (Baker, 2003).

Si bien esta biomasa representa solo una pequeña parte de la masa total de los océanos, su importancia es vital como un gran reservorio de energía, a pesar de que solo se aprovecha una fracción de esta que es emitida por el sol y fijada por los organismos fotosintetizadores. La biomasa producida posee en general un uso primario a consumidores finales ya sea como alimento o productos químicos (Elías-Castells, 2012).

Pigmentos fotosintéticos.

La energía solar se utiliza para conducir el proceso de la fotosíntesis y la conversión de la energía radiante en energía química la cual depende de pigmentos fotosintéticos especiales que se encuentran en los cloroplastos de las algas. El pigmento dominante es la clorofila *a*, pero la clorofila *b*, *c*, *d*, más los pigmentos accesorios (*carotenos*, xantofilas y ficobilinas) presentes en muchas especies, pueden involucrarse en esta conversión. Todos los pigmentos fotosintéticamente activos absorben longitudes de onda en un rango de 400-700 nm (Photosynthetically activation reactive) (PAR) pero cada uno muestra una diferente absorción en el espectro de luz (Lalli y Parsons, 1997).

De acuerdo a los beneficios ecológicos y económicos que proveen los sistemas arrecifales del país, el presente estudio contribuirá a avanzar en el conocimiento sobre las tasas fotosintéticas que realizan los corales constructores de arrecifes de acuerdo a la asociación alga-pólipo que lo constituye, ya que en la costa del Pacífico tropical mexicano, no existen estudios sobre la productividad primaria de los ecosistemas arrecifales.

ANTECEDENTES

Los estudios de productividad en arrecifes coralinos de acuerdo al método de la curva diurna de oxígeno, surgieron a mediados del siglo pasado con ingeniosas metodologías de trabajo, permitiendo así estudiar la productividad en arrecifes de coral (Sargent y Austin, 1949; Odum y Odum, 1955; Kohn y Helfrich, 1957). Estos estudios permitieron descubrir que la productividad primaria de estos ecosistemas era muy alta y que la razón productividad/respiración (P/R) se situaba cerca de 1, lo que indica que el arrecife en su conjunto se aproxima a un clímax metabólico. Se anticipaba que el agua corriente y una recirculación biológica eficiente de los elementos nutritivos son dos factores principales que determinan una alta productividad (Odum, 1971). En el Pacífico tropical hubo interés por geólogos y biólogos los cuales realizaron estudios detallado de la flora y fauna de los arrecifes, y que permitieron definir la relación entre la biomasa, la cantidad de organismos por área, y la productividad definida como tasa de producción (Odum y Odum, 1955)

Los primeros estudios biológicos en arrecifes coralinos fueron efectuados en la Gran Barrera de Australia, posteriormente se realizaron trabajos relacionados con su ecología y fisiología (Yonge, 1963; 1968). El análisis de entrada y salida de un atolón del Pacífico, sugirió que la biomasa zooplanctónica no era suficiente para soportar la población existente y que los corales obtenían gran parte de su energía alimenticia de algunas algas simbióticas, las que a su vez recibían elementos nutritivos de los corales (Odum y Odum, 1955).

La controversia suscitada por esta teoría estimuló estudios complementarios que han aclarado el carácter de las relaciones mutualísticas entre los corales y las algas. (Odum, 1971), resaltando que las algas endozoicas aumentan considerablemente la capacidad del coral para construir su esqueleto. La calcificación es en promedio diez veces mayor en la luz que en la obscuridad y resulta considerablemente retardada cuando se priva a los corales de sus algas endozoicas de manera experimental. Al parecer la fijación de CO₂ por fotosíntesis algal contribuye más a la construcción del esqueleto que a la alimentación de pólipo (Goreau y Goreau, 1960).

Kanwisher *et al.*, (1967), determinaron el intercambio de oxígeno con 14 especies de corales en un arrecife de Florida en la oscuridad y a diferentes intensidades de luz. La tensión de oxígeno fue monitoreada con un electrodo polarográfico de grabación y los resultados obtenidos concluyen que los arrecifes de coral están entre los organismos más productivos y que las algas verdes del mismo arrecife contribuyen muy poco a esta productividad.

Muchos de los trabajos han sido estudios interdisciplinarios sobre el balance metabólico de los arrecifes de coral ya que son ecosistemas bentónicos marinos más conocidos. Estos trabajos consistieron en estimaciones de producción primaria, el flujo de nutrientes y su variación en diferentes niveles de integración a escalas espaciales y temporales (Rogers, 1979; Gattuso *et al.*, 1999; Falter *et al.*, 2000; McConnaughey *et al.*, 2000).

En el Pacífico mexicano los estudios sobre corales han sido enfocados principalmente hacia aspectos ecológicos, biogeográficos y de reproducción (e.g. Glynn y Leyte-Morales 1997, Reyes-Bonilla & Leyte-Morales, 1998, López-Pérez & Hernández-Ballesteros, 2004, Rodríguez-Troncoso, 2006); de descripciones (Reyes-Bonilla *et al.* 1997), de la composición de especies (Carriquiry y Reyes- Bonilla, 2000), riqueza, zonación, (Cortés, J. 1986), diversidad (Cupul-Magaña *et al.*, 2000) y reclutamiento (Glynn; *et al.*, 1996), Ríos-González, 2004); así como también de la abundancia y distribución de macroinvertebrados asociados a estas comunidades (Cantera *et al.*, 2003).

En años más recientes, el interés se ha desplazado hacia los estudios del metabolismo y el ciclo mineral en las comunidades de los arrecifes en su conjunto y hacia los estudios detallados de la notable simbiosis entre los corales y las algas, que es una de las principales razones del éxito de los ecosistemas arrecifales.

Calderón-Aguilera *et al.* (2010), realizaron un estudio de las comunidades coralinas del Pacífico mexicano con datos del año 2002, registrando la tasa anual de carbonato de calcio (CaCO_3) y la productividad neta (Pn) producida por unidad de área cubierta por una colonia de coral. Estos autores señalan, que los arrecifes del Pacífico mexicano no se comportan como fuente ni sumidero de carbono de una importancia

significativa a escala regional, pero si pueden ser considerados como ecosistemas “bandera” indicadores de cambios ambientales. Se señala además, que la cobertura de coral ha disminuido y en consecuencia la tasa de almacenamiento de carbono.

Recientemente, Rico-Esenaro (2010) efectuó un experimento *ex situ* para determinar el balance metabólico de la relación mutualística alga-pólipo en 12 fragmentos del coral incrustante *Porites panamensis*, cerca de la playa Pichilingue en Baja California Sur. El experimento se realizó en el mes de octubre, mediante la incubación de los fragmentos de coral en cámaras respirométricas alimentadas por agua de mar distribuida mediante un sistema de bombeo filtrado, eliminando aproximadamente el 70% de materia orgánica particulada y el sedimento entre otros. Las concentraciones de oxígeno más altas se dieron el primer día de incubación, siendo *P. panamensis* una especie capaz de alcanzar una eficiencia metabólica que permite incluso mantener los requerimientos de otros integrantes imposibles de aislar de las cámaras experimentales, como larvas de camarón, etc. Se llegó a la conclusión que el metabolismo de la taxocenosis coralina juega un papel de suma importancia como regulador del pH en zonas arrecifales.

Actualmente, se están realizando estudios para entender los efectos del cambio climático, así como la acidificación del agua en los océanos y en los arrecifes de coral. Los escenarios están destinados a proporcionar un marco para dar una respuesta proactiva a los cambios que se han iniciado en los ecosistemas de los arrecifes de coral y provocar una reflexión profunda sobre la futura gestión y desafíos de las políticas para su protección (Hoegh *et al.*, 2007).

JUSTIFICACIÓN

Pese a la gran biodiversidad que albergan y su gran productividad, las comunidades coralinas son sistemas de gran fragilidad que requieren un manejo especial para asegurar su permanencia. Su vulnerabilidad y el cuidado que ameritan para su protección, depende del mantenimiento de su integridad estructural y de la protección de la calidad de las aguas que rodean estos sistemas. Actualmente, el monitoreo ambiental de los arrecifes de coral se encuentra limitado, y aún no existen suficientes elementos para evaluar efectos como el cambio climático y la acidez en los océanos, por lo que se requiere del diseño de programas de monitoreo que puedan detectar o prevenir degradaciones ambientales.

En nuestro país, son pocos los trabajos dedicados a explicar el balance metabólico del proceso de simbiosis en corales. Por esto es necesario evaluar las tasas de productividad primaria en comunidades de corales hermatípicos presentes en la costa de Jalisco, incluida una localidad de relevancia a nivel regional como es el arrecife coralino de playa Mora en bahía de Tenacatita, y a la vez determinar el importante papel que cumplen como fuentes o sumideros de carbono en la zona costera.

TESIS/CUCBA

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar la productividad primaria de la unidad mutualística alga-pólipo del coral *Porites panamensis* Verril, 1866 y *Pocillopora capitata* Verril, 1864 de la costa de Jalisco, en experimentos *ex situ* en una época del año.

Objetivos Particulares

1. Estimar la producción primaria de dos especies de corales hermatípicos en incubaciones *ex situ* a diferentes concentraciones de oxígeno disuelto
2. Estimar la biomasa algal de cada especie, a partir de la determinación de pigmentos fotosintetizadores (clorofila α , b , $c1-c2$ y carotenos).
3. Comparar las eficiencias metabólicas de cada especie, en relación con su productividad neta, la relación Fotosíntesis/Respiración y la biomasa algal.

HIPÓTESIS

Ha: De acuerdo a las distintas características en la estructura, número de pólipos y tasa fotosintética de cada especie de coral, se espera encontrar diferencias en las tasas de productividad primaria y en la concentración de pigmentos fotosintéticos: clorofila *a*, *b*, *c1-c2* y *carotenos*, así como en sus respuestas a las condiciones ambientales.

Ho: No existen diferencias significativas en la tasa de productividad y la concentración de pigmentos fotosintéticos de clorofila *a*, *b*, *c1-c2* y *carotenos*; entre las especies de coral *Pocillopora capitata* y *Porites panamensis*.

DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Las colonias de corales se extrajeron de la localidad de Punta Perula 500 km al sur de la desembocadura del estero P. Perula, Bahía Chamela, (19°34'53.39" N 105°08'01.88" O) y de Bahía Tenacatita (19° 17' 00" N y 104° 50' 00" O), ubicadas en la costa de Jalisco, México (INEGI, 1981).

La costa de Jalisco presenta una vegetación de bosque tropical caducifolio, bosque tropical sub-caducifolio y humedales, predominando el clima cálido sub-húmedo, con una marcada estacionalidad. La temperatura media anual es de 25.2°C (con máximas de 32.8°C y mínimas de 17.6°C). Tiene una humedad relativa de 73.4%. La sequía se presenta de noviembre a junio, algunas veces interrumpida por lluvias ligeras o fuertes en diciembre o enero. El promedio de los días con lluvia apreciable es de 52 con más o menos 5 lluvias fuertes. Los ciclones pasan paralelos a la costa. La precipitación promedio entre 1977-1999 fue de 731 mm con un total de 1393.6 mm (1992) en el año más lluvioso y 451.9 mm (1986) en el más seco (Blanco-Alonso y Madrid-Hernández, 2004.) El litoral de la bahía está bañado por aguas del Océano Pacífico Oriental Tropical, cuyas corrientes superficiales siguen un patrón variable ligado al sistema de vientos prevalecientes, donde se distinguen tres periodos principales: 1) cuando las aguas son cálidas entre los meses de julio a diciembre y está presente la contracorriente nor-ecuatorial, la cual fluye alrededor del Domo de Costa Rica y penetra en la corriente Ecuatorial del Norte entre los 10° y 20° LN; 2) el segundo periodo corresponde a aguas frías o templadas entre los meses de febrero a mayo, por la influencia de la corriente Californiana; y 3) de diciembre a febrero, cuando las aguas presentan una gran variación en temperatura, con influencia todavía de la corriente de California que se retrae hacia el norte e influencia de aguas que proviene del Golfo de California (Wyrтки, 1965; De la Lanza-Espino, 1991)

Bahía Chamela tiene una extensión de aproximadamente 9 km, con amplias playas arenosas, por la cual, en dirección norte, se llega a una punta rocosa con acantilados y a una playa con piedras, guijarros y cantos rodados. Durante la bajamar se observa

una plataforma rocosa con pozas de marea. (Mendoza-González *et. al.* 2011). Se ubica entre dos sistemas oceánicos y está protegida por ocho islas de origen volcánico, destacando las islas: Cocinas, Pajarera, San Pedro y San Andrés. Hacia el Sur está limitando por la porción comprendida entre los ríos Cuitzmala y San Nicolás (Arizmendi *et al.*, 1990)

Por otro lado, La Bahía de Tenacatita presenta una extensión de 6.5 km donde se ubican tres principales playas: La Manzanilla, Tenacatita y Boca de Iguanas, que contienen gran variedad de especies marinas. Su geología está conformada principalmente por rocas intrusivas (granitos y rocas afines) del Mesozoico y Cenozoico y se encuentra influenciada principalmente por tres ríos: San Nicolás, Cuitzmala y Purificación, así como por los arroyos Chamela, Guayabos, Huehuenes e Higueral (INEGI, 1981) (Fig. 1)

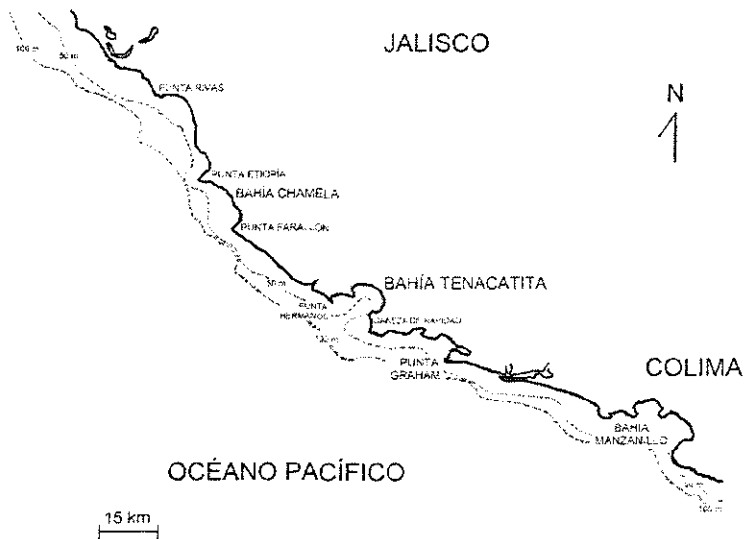


Fig. 1 Ubicación de las Bahías de Chamela y Tenacatita en la costa centro-sur de Jalisco (Diseño Ernesto López Uriarte.)

MATERIALES Y MÉTODOS

Para evaluar la productividad primaria en corales hermatípicos *Porites panamensis* Verrill, 1866, (coral de tipo incrustante masivo) (Fig. 2) y *Pocillopora capitata* Verrill, 1864 (coral de tipo ramificado) (Fig. 3), se efectuó un experimento *ex situ* a finales de octubre y principios de noviembre del 2011, extrayendo y utilizando un total de 17 colonias de coral: 10 de *P. capitata* y 7 de *P. panamensis*. Las colonias se extrajeron a una profundidad menor a 2 m, mediante buceo tipo SCUBA, depositándose en una hielera con agua de mar para trasladarlas al laboratorio del CUCSUR de la Universidad de Guadalajara en Melaque, Jalisco. Se colocó cada colonia de coral en una cámara respirométrica con una capacidad 1,800 ml, ubicada dentro de una tina principal de fibra de vidrio con dimensiones de 50 x 1.10 cm y 120 litros de capacidad. Cada cámara fue alimentada con agua de mar mediante un sistema Manifold, bombeada desde un aljibe que almacenaba el agua previamente filtrada para evitar hasta un 70% de materia orgánica, plancton y sedimentos.



Fig. 2 *Porites panamensis*.

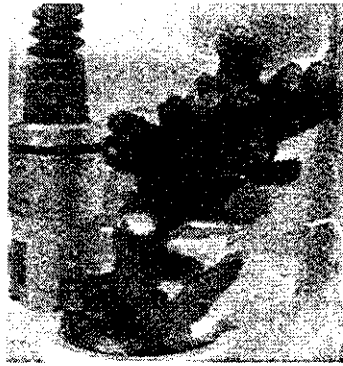


Fig. 3 *Pocillopora capitata*.

Previo al experimento, las colonias se mantuvieron dentro de cámaras respirométricas durante 24 h para su aclimatación en condiciones de laboratorio (Fig. 4). Posteriormente, se inició el experimento por 72 h continuas. Se realizaron incubaciones cada dos horas (3 incubaciones diurnas y 5 nocturnas) y se registraron las variaciones de factores fisicoquímicos: O₂, pH, temperatura, salinidad e irradianza

en la tina principal, así como los cambios de oxígeno disuelto y temperatura en cada una de las cámaras de incubación. Entre cada incubación, se removía una hora la tapa de cada cámara, para garantizar un recambio en el agua y evitar estrés excesivo en los corales (Barreiro y Signoret, 1999) (Fig.5). Se utilizó una cámara respirométrica sin coral como control. El oxígeno disuelto (O_2) y la temperatura ($^{\circ}C$) se registraron con un oxímetro YSI Modelo 55, el pH fue determinado con un potenciómetro Hatch, la irradianza ($\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$) con un irradiómetro Li-Cor modelo LI-250 Light meter y la salinidad con un multifuncional YSI 85.

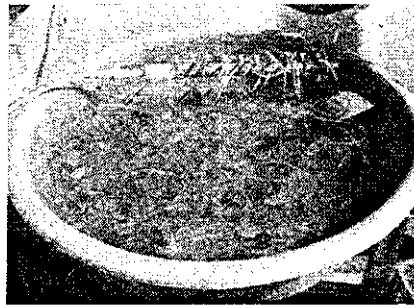
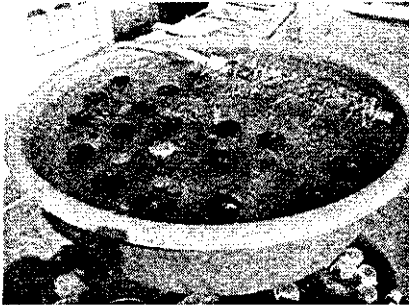


Fig. 4 Cámaras respirométricas dentro del sistema Fig. 5 Cámaras respirométricas sin tapa.

Una vez concluido el experimento, se determinó el área de superficie viva de cada fragmento envolviéndolo en papel aluminio, haciendo una copia lo más fiel posible de su estructura, para después dibujarlo en papel milimétrico. El conteo del número de pólipos se realizó por triplicado en cortes de 1 cm^2 de cada fragmento de coral utilizando un taladro dremel (Fig. 6). Posteriormente estas colonias se maceraron con 10 ml de acetona al 90% y se colocaron en tubos de ensaye para luego ser centrifugados durante 15 minutos a 6,000 rpm. (Fig. 7) El sobrenadante se colocó en celdas de cuarzo de 1 cm de haz de luz para realizar las lecturas de absorbancias en un espectrofotómetro marca Génesis desde 750 a 480 nm y así determinar los pigmentos fotosintéticos mediante las ecuaciones de Jeffrey y Humphrey (1975).



Fig. 6 Corte de fragmentos de corales.

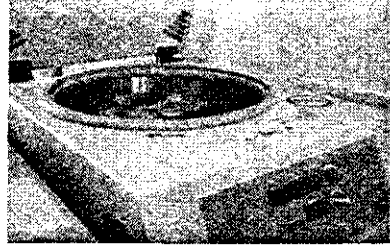


Fig. 7 Centrifugación de sobrenadante.

Se implementó un modelo de ecuaciones cuadráticas para evaluar la productividad neta y respiración de cada colonia, así como ANOVA de una vía para evaluar la variación de los parámetros fisicoquímicos del sistema de incubación y en cada una de las cámaras respirométricas.

Se graficaron las diferencias de la liberación de oxígeno disuelto final menos oxígeno disuelto inicial ($O_f - O_i$) de las incubaciones diurnas y nocturnas en una figura de dispersión XY y se ajustó a un modelo cuadrático, con el fin de alcanzar una cercanía a la producción bruta y determinar el área bajo la curva que representa producción diaria, cuya función se define en la siguiente ecuación para cada especie de coral.

RESULTADOS

Parámetros fisicoquímicos del sistema de incubación

Las variaciones de los parámetros físico-químicos del sistema de incubación durante los tres días de experimentación se indican en la tabla 1. La fase diurna (6:00-18:00 h) presentó una irradianza máxima entre las 12 y las 14 h. La temperatura en los periodos diurnos oscilo entre 32.65 y 32.43 ° C y en los periodos nocturnos entre 31.53 y 31.7 ° C. La salinidad se mantuvo entre 33.75 y 35.1 ups. El pH mantuvo fluctuaciones de entre 7.6 y 8.03.

El ANOVA utilizando las estimaciones de las temperaturas registradas en cada una de las cámaras respirométricas durante los tres días de experimentación, indico que no existen diferencias significativas en las dos especies de coral en *Porites panamensis* $F= 0.99$ ($p = < 0.433$) y *Pocillopora capitata* $F= 0.99$ ($p = < 0.445$).

Tabla 1. Valores promedio de irradianza, temperatura, salinidad y pH durante las incubaciones.

Periodo	irradianza ($\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$)	temperatura (°C)	salinidad ups	pH
00:00-02:00	0	31.4	34.95	7.93
03:00-05:00	0	31.46	34.85	8.03
06:00-08:00	42.21	31.7	35	7.96
09:00-11:00	523.9	32.65	34.85	7.8
12:00-14:00	751	32.1	33.75	7.6
15:00-17:00	487.66	32.43	34.9	7.8
18:00-20:00	2.39	32.1	35	7.8
21:00-23:00	0	31.53	35.1	7.8

Producción primaria

El período de producción (o liberación) de oxígeno se estableció entre las 6:00 y las 18:00 h, mientras que la respiración (o consumo) de las 19:00 a las 5:00 h, en ambas especies de coral. Las colonias mostraron una tendencia a liberar mayor cantidad de oxígeno después de las 12 h y hasta el atardecer. En las tablas 2 y 3 se resumen los valores promedio de liberación de oxígeno para *P. panamensis* y *P. capitata* respectivamente. La segunda incubación relevante por la cantidad de producción de oxígeno fue diferencial entre corales, ya que para *P. panamensis* se registró en el primer periodo diurno 6 a 8 h (tabla 2), mientras que para *P. capitata* fue en la última incubación entre las 15 a 17 h (tabla 3). Solo como referencia, se calculó el valor promedio de las incubaciones diurnas (entre las 6 y las 17 h) para todas las colonias de las dos especies, por separado, y muestran valores relativamente menores que los de la tabla 2 y 3; para *P. panamensis* el promedio fue de $0.52 \text{ mg.O}_2 \text{ l}^{-1} \text{ hr}^{-1}$, con un máximo de $2.4 \text{ mg.O}_2 \text{ l}^{-1} \text{ hr}^{-1}$ y mínimo de $0.1 \text{ mg.O}_2 \text{ l}^{-1} \text{ hr}^{-1}$, y en *P. capitata* el promedio fue de $1.81 \text{ mg.O}_2 \text{ l}^{-1} \text{ hr}^{-1}$ con un máximo de 6.1 y mínimo de $0.1 \text{ mg.O}_2 \text{ l}^{-1} \text{ hr}^{-1}$.

En *P. panamensis* la liberación de oxígeno en la incubación fue similar, ya que no se presentaron diferencias significativas entre las colonias. En *P. capitata* la producción de oxígeno fue diferencial entre colonias, (ANOVA, $F = 3.16$; $p = < 0.01$) Los valores de la prueba a posteriori de comparaciones múltiples de Tukey's se indica en la tabla 4

Tabla 2. Valores promedio de oxígeno disuelto ($\text{mg.O}_2\text{l}^{-1}\text{hr}^{-1}$) por colonia en cada periodo de incubación para *Porites panamensis*.

Periodo	colonia						
	1	2	3	4	5	6	7
00:00-02:00	0.4	0.33	0.96	0.3	0.2	0.6	0.4
03:00-05:00	0.76	0.33	0.53	0.53	0.63	0.66	0.73
06:00-08:00	0.66	0.4	1	0.3	0.53	0.6	0.63
09:00-11:00	1.4	0.50	0.50	0.56	0.40	0.66	0.68
12:00- 14:00	1.2	2.4	0.66	0.80	0.93	0.66	0.80
15:00-17:00	0.83	0.20	0.40	0.26	0.40	0.43	0.43
18:00-20:00	0.90	0.50	0.93	0.63	0.63	0.70	0.70
21:00-23:00	0.6	0.43	0.76	1.1	0.66	0.76	0.86

Tabla 3. Valores promedio de oxígeno disuelto ($\text{mg.O}_2\text{l}^{-1}\text{hr}^{-1}$) por colonia en cada periodo de incubación para *Pocillopora capitata*.

Periodo	colonia									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
00:00-02:00	0.70	0.36	1.12	0.83	0.26	0.76	1.23	1.13	0.76	0.06
03:00-05:00	0.33	0.56	1.43	1.53	0.86	1.33	1.23	0.70	0.93	0.13
06:00-08:00	0.9	0.46	1.23	1.2	0.7	1.13	0.83	1.6	0.73	0.26
09:00-11:00	2.2	1.5	0.3	0.93	0.93	1.2	1.73	4.03	1.06	1.16
12:00- 14:00	2.43	1.4	3.4	1.63	1.4	2.4	2.1	4.76	1.56	0.96
15:00-17:00	2.2	1	2.3	1.96	0.6	2.4	1.16	1.93	0.83	0.36
18:00-20:00	0.43	0.56	0.6	0.96	0.16	1.9	1.1	2.23	0.93	1.26
21:00-23:00	1.23	0.86	1.53	0.6	0.5	0.26	1.53	2	1.36	0.6

Tabla 4. Prueba de comparaciones de Tukey's de liberación de oxígeno entre colonias de *P. capitata*.

colonias	p < 0.05
8 vs 1	0,026
8 vs 2	0,0001
8 vs 3	0,034
8 vs 4	0,0002
8 vs 5	0,0001
8 vs 6	0,002
8 vs 7	0,0002
5 vs 1	0,008
5 vs 3	0,0063
9 vs 8	0,0063
9 vs 10	0,0001

En ambas especies la curva de liberación de oxígeno se presentó entre las 9:00 y 17:00 h, en *P. panamensis* el valor promedio fue de 0.6 mg.O₂.l⁻¹.hr⁻¹, con máximo de 2.4 mg.O₂.l⁻¹.hr⁻¹ en el periodo de las 12 a 14 h, y un mínimo de 0.1 mg.O₂.l⁻¹ durante el periodo de las 15 a 17 h (Fig. 8). En *P. capitata* el valor promedio fue 1.82 mg.O₂.l⁻¹.hr⁻¹ con un máximo de 6.1 mg.O₂.l⁻¹.hr⁻¹ en el periodo de las 12 a 14:00 h y un mínimo de 0.1 mg.O₂.l⁻¹.hr⁻¹ observado durante los periodos nocturnos de 3:00 y 21:00 h (Fig. 9).

$$y = 0,02009x + 0,002464x^2 - 5,118E-05x^3 + 1,855E-06x^4$$

$$r^2 = 0.06, F = 1.8124, p = < 0.12977$$

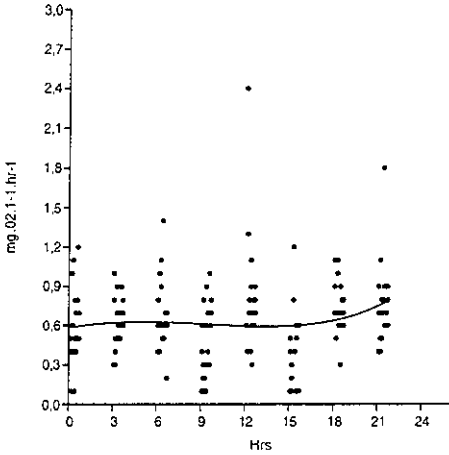


Figura 8. Curva de liberación de O₂ durante 72 h para *Porites panamensis*.

$$y=0.1581x+0.0579x^2-0.004348x^3+9.359E-05x^4$$

$$r^2 = 0.17, F = 12,319, p = < 4.1929E-09$$

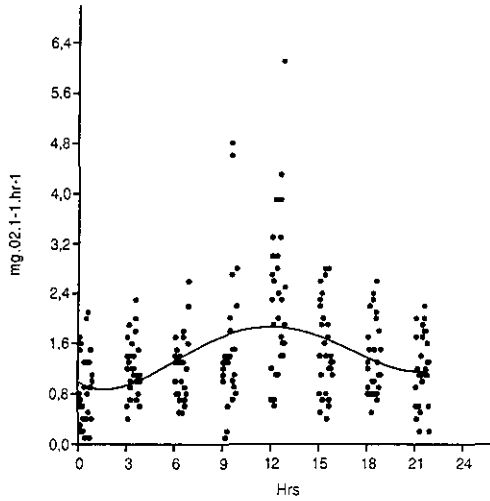


Figura 9. Curva de liberación de O₂ durante 72 h para *Pocillopora capitata*

Balance metabólico

Se obtuvo un valor de $0.6 \text{ mg.O}_2.\text{l}^{-1}.\text{hr}^{-1}$ en *Porites panamensis* y de $1 \text{ mg.O}_2.\text{l}^{-1}.\text{hr}^{-1}$, en *Pocillopora capitata* (Fig. 10 y 11). Los puntos más altos de respiración para *P. panamensis* coincidieron entre las 3:00 y 22:00, registrando el valor más elevado de respiración de $1.2 \text{ mg.O}_2.\text{l}^{-1}.\text{hr}^{-1}$ en el periodo de las 01:00 h. (Fig. 10). Y para *P. capitata* los puntos más altos coincidieron entre las 4:00 y 22:00 hrs respectivamente con valores de 1.0 y $1.1 \text{ mg.O}_2.\text{l}^{-1}.\text{hr}^{-1}$ siendo el valor máximo de respiración de $2.3 \text{ mg.O}_2.\text{l}^{-1}.\text{hr}^{-1}$ a las 4:00 h (Fig. 11).

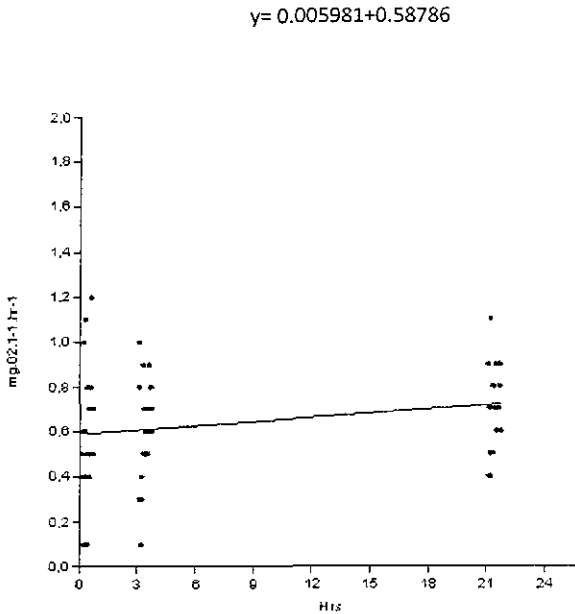


Figura 10. Valores nocturnos de oxígeno disuelto correspondientes a la respiración en *Porites panamensis*.

$$y = 0.013394x + 0.99139$$

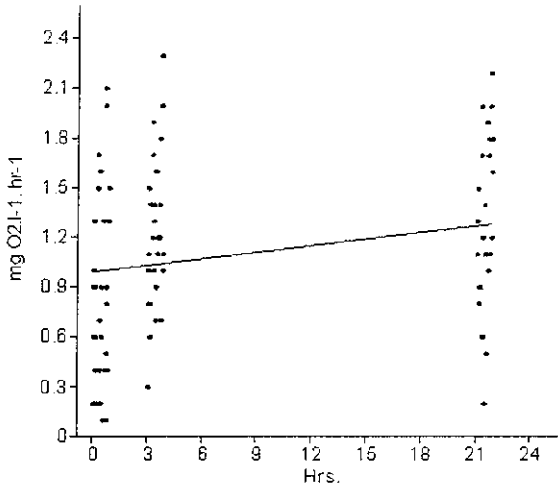


Figura 11. Valores nocturnos de oxígeno disuelto correspondientes a la respiración en *Pocillopora capitata*.

Después de ser valorada la función de la curva de liberación de oxígeno para cada hora del día y la determinación del valor de la respiración basal (r), se construyó un modelo que permite estimar el balance metabólico en la taxocenosis (Fig. 12 y 13).

Para *P. panamensis* (coral incrustante), se obtuvieron valores de $1.28 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1} \text{ día}^{-1} \text{ pólipo}^{-1}$ de la tasa fotosintética (F) y una tasa de respiración (R) de $0.57 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1} \text{ día}^{-1} \text{ pólipo}^{-1}$. El cociente $F:R$ promedio de todas las colonias fue de $1.92 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1} \text{ día}^{-1} \text{ pólipo}^{-1}$ (Fig.12)

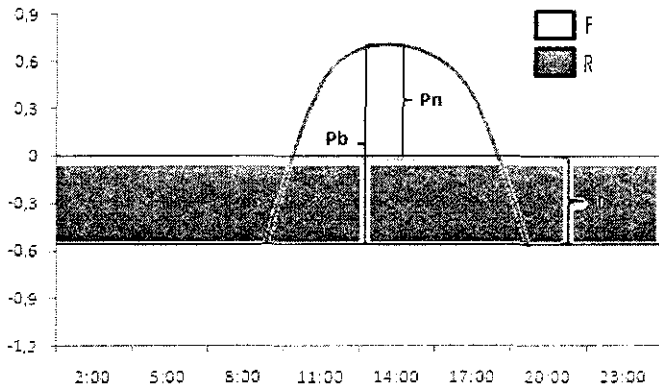


Figura 12. Modelo del balance metabólico de la taxocenosis en *P. panamensis*. Pb = producción bruta, Pn = productividad neta, r = cuota de respiración, F=Tasa fotosintética.

En *Pocillopora capitata* (coral ramificado), los valores de la tasa fotosintética (F) fue de $0.82 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1} \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{pólipo}^{-1}$ y la tasa de respiración (R) de $0.49 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1} \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{pólipo}^{-1}$. El cociente F:R promedio fue de 1.78. $\text{mg O}_2 \text{ l}^{-1} \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{pólipo}^{-1}$ (Fig. 13). En ambas especies se obtuvieron niveles de autótrofia en la taxocenosis.

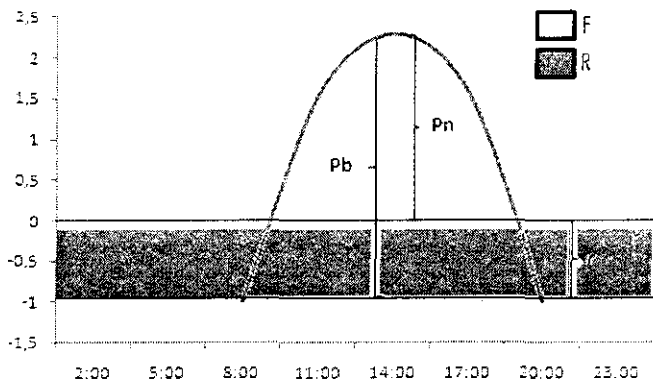


Figura 13. Modelo del balance metabólico de la taxocenosis en *P. capitata* Pb = producción bruta, Pn = productividad neta, r = cuota de respiración, F=Tasa fotosintética y R= tasa de respiración.

Biomasa en superficie viva y pigmentos fotosintéticos

En las siete colonias de *P. panamensis* se estimó en la colonia 1 la mayor productividad bruta (Pb) con un valor de $3.3 \text{ mg.O}_2.\text{l}^{-1}.\text{hr}^{-1}$ con una superficie viva de 116 cm^2 y 39 pólipos por cm^2 . El resto de las colonias presentaron valores de entre 1.9 y $1.3 \text{ mg.O}_2.\text{l}^{-1}.\text{hr}^{-1}$ (Pb) con una superficie viva y número de pólipos en promedio menor al de la colonia no. 1, además de una desviación estándar menor, lo que sugiere mayor eficiencia fisiológica (actividad fotosintética) de las colonias durante los días de incubación (Tabla. 5)

Tabla. 5 Biomasa en superficie viva por cm^2 , número de pólipos por cm^2 , valores máximos y mínimos de productividad bruta (Pb) media y desviación estándar (d.s) en fragmentos de *Porites panamensis*.

colonia	superficie viva en cm^2	no. de pólipos cm^2	Pb ($\text{mg.O}_2.\text{l}^{-1}.\text{hr}^{-1}$)		
			máx	min	media (d.s)
1	116	39.33	3.3	0.5	0.64 (0.68)
2	83	41	1.8	0.1	0.36 (0.36)
3	56	55.33	1.9	0.4	0.12 (0.80)
4	137	42.66	1.7	0.1	0.56 (0.35)
5	115	24.66	1.3	0.4	0.44 (0.23)
6	79	22.33	1.5	1.2	0.58 (0.26)
7	103	37.66	1.5	0.5	0.61 (0.25)

El promedio de número de pólipos de las siete colonias fue de 38 por cm^2 , y el área total de superficie viva fue de 689 cm^2 .

En *P. capitata* la colonia no. 8 registró la mayor productividad bruta con un valor de $8.2 \text{ mg.O}_2.\text{l}^{-1}.\text{hr}^{-1}$ y un promedio de $3.57 \text{ mg.O}_2.\text{l}^{-1}.\text{hr}^{-1}$ con una superficie viva de 232 cm^2 y 72.33 pólipos por cm^2 (tabla. 5). La colonia no. 3 fue la siguiente en eficiencia con la segunda producción bruta más elevada, obteniendo promedio de $2 \text{ mg.O}_2.\text{l}^{-1}.\text{hr}^{-1}$. La colonia 1 y 6 presentaron valores de producción bruta entre $2.27 \text{ mg.O}_2.\text{l}^{-1}.\text{hr}^{-1}$.

$l.hr^{-1}$ y $1.75 mg.O_2.l^{-1}.hr^{-1}$ respectivamente. En el resto de las colonias la producción bruta osciló entre $1.66 mg.O_2.l^{-1}.hr^{-1}$ y $0.64 mg.O_2.l^{-1}.hr^{-1}$. (Tabla. 6)

Tabla. 6 Biomasa en superficie viva, número de pólipos, productividad bruta (máx-min) media y desviación estándar en fragmentos de *Pocillopora capitata*.

colonia	superficie viva cm ²	no. de pólipos cm ²	Pb (mg.O ₂ . l ⁻¹ . hr ⁻¹)		
			máx	min	media (d.s)
1	118.5	87.33	3.6	0.2	2.27 (0.36)
2	79	43	2.7	0.4	1.3 (0.35)
3	155	38.66	5.2	0.2	2 (1.49)
4	114	40.66	3.8	0.2	1.51 (1.18)
5	115	52.66	1.9	0.2	0.64 (0.60)
6	43	38	4.3	0.1	1.75 (1.35)
7	108	66	3.3	0.4	1.66 (0.47)
8	232	79.33	8.2	0.5	3.57 (1.57)
9	73	65	2.3	0.1	1.15 (0.42)
10	84	70	3.6	0.4	0.77 (1.47)

El promedio de número de pólipos de las 10 colonias, alcanzando un valor de 58 pólipos por cm², y el área de superficie viva total fue de 1,215 cm².

Las lecturas de absorbancia por espectrofotometría en las colonias de coral de ambas especies, determinó la presencia de clorofila *a* como pigmento principal en la longitud de onda de 664 nm, contribuyendo con el 49% en *P. panamensis* y 69% en *P. capitata*, la clorofila *c1-c2* en longitud de 630 nm, con una menor contribución y los *carotenos* correspondieron al espectro de 430 nm, donde estuvieron representados de manera significativa (Fig. 14 y 15).

Para *P. panamensis* se determinó una proporción de 1:0.10:0.93 para clorofilas *a*, *c1-c2* y caroteno. Se registraron valores promedio de 0.815 mg clorofilas *a* 0.0855 mg *c1-c2* y 0.775 mg de carotenos por pólipo⁻¹. La proporción fue de (Fig. 14)

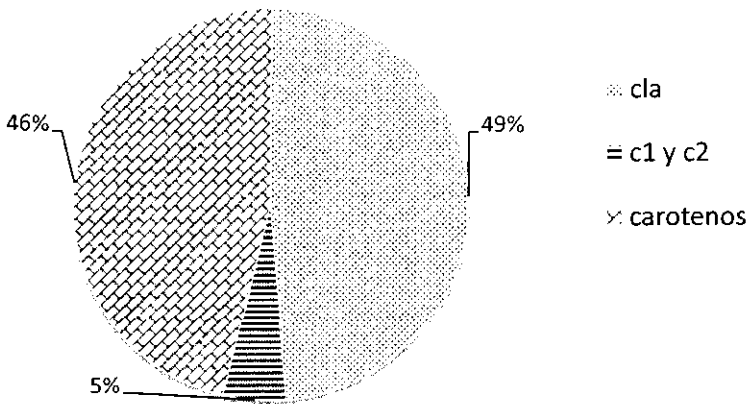


Figura 14. Distribución promedio de pigmentos fotosintéticos en *Porites panamensis*.

Para *P. capitata* se determinó una proporción de 1:0.072:0.37 para clorofilas α , *c1-c2* y *carotenos* respectivamente. Se registraron valores promedio de 0.834 mg clorofilas α 0.063 *c1-c2* y 0.309 *carotenos* pólipo^{-1} (Fig. 15)

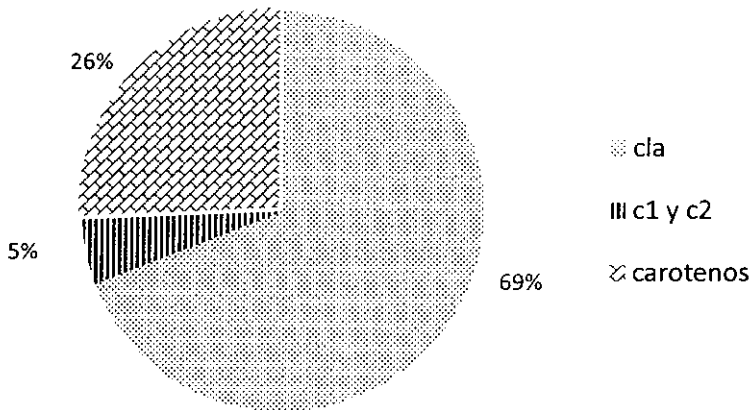


Figura 15. Distribución promedio de pigmentos fotosintéticos en *Pocillopora capitata*.

DISCUSIÓN

Parámetros fisicoquímicos

Las condiciones ambientales del sistema de recirculación durante los días de experimentación, presentaron similitudes a las registradas en los sitios donde se extrajeron las colonias de coral utilizadas en las incubaciones del presente estudio, en cuanto a temperatura y salinidad. Esto se observó durante los muestreos de fitoplancton y productividad primaria en columna de agua en estaciones de ambas bahías, que coincidieron con los días de colecta de las colonias para las incubaciones, donde la temperatura superficial al inicio y final del día registra una diferencia de 2° C del muestreo de fitoplancton. Lo anterior es una variación natural en la columna de agua del ambiente pelágico y béntico en áreas poco profundas, donde los organismos tienden a aclimatarse sin ningún efecto en su desarrollo y metabolismo. El agua al llegar al estanque se mantuvo expuesta durante varias horas a las condiciones externas, provocando un incremento ligero de temperatura, oscilando entre 30 y 33° C. Sin embargo, cuando ocurren variaciones ambientales de la temperatura a corto plazo (minutos a horas), el organismo tiende a amortiguarlas y se aclimata a la nueva condición sin efecto aparente en su metabolismo (Levinton, 1995), pero si la variación continúa un mayor plazo, entonces el efecto ocasiona desequilibrio y hasta la muerte del organismo, debido al estrés térmico, como ha sucedido con eventos de El Niño en los ecosistemas coralinos en el Pacífico oriental tropical (Calderón *et al.*, 2010)

Productividad primaria

Toda vez que exista una equivalencia concreta entre el oxígeno y la materia producida, la producción de oxígeno puede construir una base para averiguar la productividad. La producción de oxígeno puede medirse así mismo por el método de la “curva diurna”. En este caso las mediciones de oxígeno disuelto en el agua en libertad se efectúan a intervalos durante el día y la noche, de modo que la producción

de oxígeno durante el día y su consumo durante la noche, puedan calcularse delimitando el área bajo las curvas diurnas (Odum, 1971), el método de la curva diurna mide la producción primaria bruta, ya que el oxígeno consumido durante la noche se añade al producido durante el día (con lo que queda concluida la respiración de la comunidad conjunta) (Odum, 1971) Esto permite identificar el periodo de máxima producción de oxígeno en las colonias durante los 3 días de incubaciones, y así obtener la relación F/R e indicar la condición de autótrofia o heterotrofia según

Aunque el método de botella clara y oscura basado en la producción de oxígeno muestra sus restricciones como poca sensibilidad y se recomienda ser utilizado en áreas de alta productividad, es el método ampliamente utilizado por ser sencillo y económico (Odum, 1971). En ese sentido, permite realizar contrastes con resultados obtenidos por otros autores. Basándose en la curva de oxígeno diurna, varios autores han encontrado que la productividad primaria de arrecifes de coral es alta y que la razón Fotosíntesis/Respiración (F/R) se sitúa alrededor de 1 indicando que la comunidad coralina y arrecife de coral en su conjunto, se aproximan a un clímax metabólico. Los resultados obtenidos en las incubaciones de las especies de corales hermatípicos *Porites panamensis* y *Pocillopora capitata* los ubica como ecosistemas de alta producción, mayormente productores o preferentemente autótrofos. Estos resultados coinciden con los reportado por Odum *et al.* (1959) en arrecifes de Puerto Rico con valores de productividad primaria neta (PPN) entre 1.4 y 2.8 g O₂ m⁻² h⁻¹, Sargent y Austin (1949) en las Islas Marshall con valores de 1.9 a 2.6 g O₂ m⁻² h⁻¹ y más recientemente, Chisholm (2003) que reporta valores de PPN de 0.32 a 1.21 g O₂ m⁻² h⁻¹. Los valores más altos de producción de oxígeno durante las incubaciones para ambas especies fue similar, observándose durante los periodos diurnos del segundo día, que coincide con la menor irradianza de los tres días de experimentación, ya que las colonias de coral lograron aclimatar temporalmente su metabolismo al cambio del hábitat y lograron incrementar la producción de oxígeno y los procesos fisiológicos de zooxantelas-coral que derivan de ello. Este mismo comportamiento ha sido reportado por Rico-Esenaro (2010) en experimentos *ex situ* realizados con *Porites panamensis*, aunque este autor lo asocia a la dinámica del sistema de CO₂ en el agua de mar por efecto en las variaciones del pH durante los experimentos. Sin embargo,

varios autores sugieren que la variable luz tiene mayor efecto en la alta producción primaria en corales zooxantelados (Hernández-Urraca, 2010). Las comunidades coralinas asentadas en Bahía Tenacatita y Bahía Chamela, localidades donde se recolectaron los fragmentos para el experimento, se pueden considerar sitios de alta eficiencia fotosintética, y por lo tanto sumideros de carbono, como lo sugiere Calderón-Aguilera *et al.*, (2010), que a escala local secuestran importante volumen de carbono logrando sobrepasar la tasa de respiración, aunque a nivel regional del Pacífico mexicano representan ecosistemas aislados de baja magnitud en el secuestro y emisión de carbono.

Balance metabólico

Para contar con una mejor idea del balance metabólico de la asociación, se estimó el cociente F/R. Cuando este valor es 1 o cercano a la unidad, indica un balance equilibrado entre la fotosíntesis y la respiración en la asociación. Cuando el valor supera la unidad 1, señala condiciones de autótrofia, mientras que si el valor es inferior a la unidad 1 se indicara condición de heterotrofia en dicha asociación (Signoret *et al.*, 1987). El cociente F/R obtenido en ambas especies de coral durante las incubaciones fue mayor a 1 indicando un nivel hacia la autótrofia o clímax metabólico. Lo anterior coincide con lo reportado por Odum (1971) y Sargent y Austin (1949) en el Pacífico y Rico-Esenaro (2010) en Baja California Sur. Esto sugiere que la producción neta de la comunidad coralina en un ciclo anual puede ser elevada en comunidades jóvenes (Odum, 1971), y que las comunidades coralinas del Pacífico central mexicano son sumideros más que fuentes de carbono (Calderón-Aguilera *et al.*, 2010)

Biomasa en superficie viva y pigmentos fotosintéticos

Los valores de oxígeno liberado en las incubaciones de la superficie viva y el número de pólipos por cm² registrado, sugieren una relación directa de la biomasa con la

productividad bruta (Signoret, 1997). En *Porites panamensis* y *Pocillopora capitata* se registró este patrón durante el experimento realizado, en el que la colonia con mayor superficie viva presentó la mayor productividad bruta, mas no necesariamente coincide con el mayor número de pólipos, debido a la plasticidad del tejido del coral. Se ha reportado que la relación número de pólipos-superficie viva para el género *Porites* no es directa debido a las características estructurales del esqueleto, al ser muy poroso donde el tejido zooxantelado penetra a mayor profundidad con respecto a otras especies de coral (Edmunds y Spencer 1986). Esto coincide con lo reportado por Rico-Esenaro, (2010) que sugiere que las células simbiotes que se encuentran en la superficie del tejido reciben la luz necesaria para alcanzar la tasa máxima de productividad y la energía suministrada por las zooxantelas necesaria para el crecimiento, puede no ser proporcional a la densidad de células simbiotes y pigmentos fotosintéticos (Galván-Rowland, 2010).

Los pigmentos pueden considerarse como indicadores de la producción potencial de la biomasa, estado fisiológico y composición taxonómica de la población (Margalef, 1960a, y 1960b, Ballester, 1966, 1973, Estrada y Vallespinos, 1976 y Flos 1978). Los principales pigmentos fotosintéticos registrados en los corales pétreos son *Cl*_a, *b*, *c1-c2*, *d*, *carotenos*, ficobilinas, xantofilas, neopiridinas, piridinas, diadinoxantina y diatoxantina, ficocianina, ficoeritrina y aloficocianina, beta-caroteno los cuales ayudan a disipar la energía de excitación y protegen al simbiote de la radiación solar (Brown *et al.*, 1999, 2000; Manrique-Reol, 2003; Muscatine, 1980). En el presente trabajo se registraron principalmente *Cl*_a, *c1-c2* y *carotenos* en el tejido del coral zooxantelado para *P. panamensis* y *P. capitata*, estos pigmentos coinciden con lo reportado por Liñán-Cabello *et al.* (2009), Iglesias-Prieto, (1994), (1997) Flores-Ramírez, (2006) y Rico-Esenaro (2010). Esto comprende entre el 60 y 70% de los pigmentos encontrados en las zooxantelas (Flores-Ramírez, 2006). La proporción de pigmentos resulto similar en ambas especies de coral, predominando la *Cl*_a, *carotenos* y *c1-c2* estas proporciones coinciden con lo reportado por Rico-Esenaro (2010) en *Porites panamensis* en La Paz Baja California Sur, y Flores-Ramírez, 2006 en Bahía Santiago, Colima con la misma especie. La *Cl*_a está involucrada en la transformación de la luz en energía química y la clorofila *c1-c2* tiene la función de

transmitir a la *Cl*a la excitación causada por fotones hacia los centros de reacción (Krause & Weis, 1991). Al parecer una densidad menor de zooxantelas tendrían disponibilidad de nutrientes suficientes, esto generaría una mayor concentración de pigmentos (Hoegh-Guldberg y Smith, 1989). Los pigmentos presentes en las algas simbióticas de estas especies de coral son el resultado de un mecanismo de aclimatación lumínica a largo plazo a diversos rangos de intensidad de luz (Lewis, 1995; Jokiel *et al.*, 1997; Dunlap y Shick, 1998) y a corto plazo como respuesta en las fluctuaciones de luz y temperatura que pueden ser registradas por las xantofilas. Glynn (1996) reporta que la mayoría de las especies de corales formadores de arrecifes, presentan una densidad de simbiontes que oscila entre 1×10^6 y 5×10^6 células/cm².

La proporción de pigmentos resultó de la siguiente manera: 0.815 mg *Cl*a, 0.0855 mg *c1-c2* y 0.775 mg carotenos para *P. panamensis*, proporciones obtenidas por Galván-Rowland, (2010) para esta misma especie difieren donde la *Cl*a, fue la menos predominante con un valor 0.02 mg y para *c1-c2* 0.055 mg, no mostrando carotenos en sus lecturas. En otro estudio similar Brown (1999) registró una proporción de 0.33 mg *Cl*a para *Porites lutea*. El género *Porites* es principalmente autótrofo (Edmunds y Davies 1986) reportando que el esqueleto es muy poroso, con tejido zooxantelado que penetra a mayor profundidad en comparación con otras especies (Edmunds y Spencer 1986) esto pudiendo ser resaltado en la cantidad de carotenos y *c1-c2* para *P. panamensis*. Para *P. capitata* la proporción de pigmentos ocurrió de la manera siguiente: 0.834 mg de *Cl*a, 0.063 *c1-c2* y 0.309 mg de carotenos, en contraste para esta misma especie con 0.76 mg *Cl*a y 0.70 mg de carotenos Flores-Ramírez (2006). La alta cantidad de carotenos en ambas especies para la época del año en que se realizó el experimento, muestra que tuvo un papel de protección para el principal pigmento fotosintético (*Cl*a), ya que la temperatura estuvo por encima de los 30° C y la irradianza más elevada del ciclo anual, resaltando la polarización solar esto probablemente por haberse realizado *ex situ*.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en las incubaciones de las especies de corales hermatípicos *Porites panamensis* y *Pocillopora capitata* los ubica como ecosistemas de alta producción, mayormente productores o preferentemente autótrofos, por lo que las comunidades coralinas asentadas en Bahía Tenacatita y Bahía Chamela, se consideran sitios de alta eficiencia fotosintética, y por lo tanto sumideros de carbono.

La presencia y proporción de pigmentos fotosintéticos, permite señalar la alta eficiencia de estas especies, principalmente por la aparición elevada de *Cla* ya que ésta a su vez, es protegida por *carotenos* y pigmentos antena *c1-c2*, estos últimos en una mínima cantidad, absorbiendo y sintetizando la energía lumínica que la *Cla* no es capaz de realizar, convirtiéndola en energía química-fotosintética utilizable.

Existe una relación directa entre la producción primaria de las zooxantelas del coral y la superficie viva del tejido del coral en colonias libres de estresores ambientales, es decir, en condiciones ambientalmente naturales.

Para ambas especies de coral, se destaca la alta capacidad para cumplir adecuadamente la función de la fotosíntesis, sustentando un nivel de comunidad clímax en la taxocenosis mediante un balance metabólico estable.

LITERATURA CITADA

Arizmendi-del Coro M, Márquez-Valdelamar L. y Órnelas-Rodríguez J.F. 1990. Historia Natural de Chamela. Avifauna, de la Región de Chamela Jalisco. Instituto de Biología de la UNAM, México 297 p.

Baker C. Andrew. 2003. Flexibility and specificity in coral-algal symbiosis: diversity, ecology and biogeography of *Symbiodinium*. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 34:661-89 pp.

Ballester, A. 1973. Regularidad y heterogeneidad de los pigmentos fotosintetizadores. *Inv. Pesq.* 37:245-293 pp.

Barreiro-Güemes, M.T, y M. Signoret-Poillon. 1999. Productividad primaria en sistemas acuáticos costeros. Métodos de evaluación. México UAM-X 81 p

Blanco-Alonso, M.A. y H.J. Madrid, 2004. Evaluación espacio-temporal de la biomasa del fitoplancton y nutrientes en la costa central de Jalisco y Manzanillo Colima. Tesis de Licenciatura en Biología, División de Ciencias Biológicas y Ambientales del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara. 37 p.

Brown B.E, R.P.D Dunne, I. Ambarsari, M.D.A. Letissier and U. Satapoomin. 1999. Seasonal fluctuations in environmental factors and variations in symbiotic algae and chlorophyll pigments in four Indo-Pacific coral species. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 191 53-69 pp.

Brown B.E., R.P. Dunne, M.E.Warner, I. Ambarsari, W.K.Fitt S.W. Gibb and D.G. Cummings. 2000. Damage and recovery of photosystem II during a manipulate field experiment on solar bleaching in the coral *Goniastrea aspera*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 195:117-124 pp.

Calderón-Aguilera, L.E., H. Reyes-Bonilla y J.D. Carriquiry. 2010. El papel de los Arrecifes Coralinos en el Flujo de Carbono en el Océano: Estudios en el Pacífico Mexicano. El carbono en Aguas Costeras Lacustres. Cap. 14 226 pp.

Cantera J. R., Orozco C. 2003. Abundance and distribution Patterns of Infaunal Associates and Macroborers of the Branches Coral (*Pocillopora damicornis*) in Gorgona island (Eastern tropical Pacific). En: Bulletin of Marine Science. 72 (1): 207-219 pp.

Carriquiry, J.D. y H. Reyes-Bonilla. 1997. Estructura de la comunidad y distribución geográfica de los arrecifes de Nayarit, Pacífico de México. Ciencias Marinas, Vol. 23 (2) 228-231 pp.

Chisholm, J.M.R. 2003. Primary productivity of reef building crustose coralline algae. Limnology and Oceanography. 48:1376-1387 pp.

Connell, J.H. 1978. Diversity in Tropical Forest and Coral Reefs. Science 199 (4335) 1304-1306 pp.

Cortés, J. 1986. Biogeografía de corales hermatípicos: el Istmo Centroamericano. Anales de Instituto del Mar y Limnología 13:297-304. 207-220 pp.

Crossland, C.J., B.G. Hatcher and S.V Smith. 1991. Role of coral reef global ocean production. Coral reefs 10: 55-64 pp.

Crossland, C.J., D.J. Barnes and M.A. Borowitzka. 1980. Diurnal lipid and mucus production in the staghorn coral *Acropora acuminata*. Mar. Biol. 160:81-90 pp.

Cupul-Magaña, A.C., O.S. Aranda Mena, P. Medina Rosas y V. Vizcaíno Ochoa. 2000. Comunidades coralinas de las Islas Marietas, Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit, México. Atlas de corales pétreos (Anthozoa: Scleractinia) Del Pacífico Mexicano 15-22 pp.

Davies, P.S. 1984. The role of zooxanthellae in the nutritional energy requirements of *Pocillopora eydouxi*. *Coral reefs* 2:181-186 pp.

Davies, P. 1991. Effect of daylight variations on the energy budgets of shallow-water and biochemical and environmental perspective. *J. Phycol.* 34:418-430 pp.

De la Lanza-Espino G., y Cáceres-Martínez, C. G. 1991. *Oceanografía de mares Mexicanos*. México. 569 p.

Dunlap, W.C. and J.N. Shick. 1998. UV radiation absorbing mycosporine-like aminoacids in coral reefs organisms. *Ecosystems, Evolution, and Ultraviolet*. 225 p.

Edmunds, P.J. and P.S. Davies. 1986. An energy budget for *Porites porites* (Scleractinia). *Mar. Biol.* 92:339-347 pp.

Edmunds, P. J. and P. Spencer-Davies. 1988. Post-illumination stimulation of respiration rate in the coral *Porites porites* *Coral Reefs* 7:7-9 pp.

Elías-Castells, X. 2012. *Energía, agua, medio ambiente, territorialidad y sustentabilidad*. Ediciones Díaz de Santos, Madrid 992 p.

Estrada, M. y F. Vallespinos. 1976. Estudio estadístico de espectros de absorción de extractos de pigmentos de comunidades de algas macrofitas. *Inv. Pesq.* 40 (1): 53-64 pp.

Falter, L.J., M.J. Atkinson and C. Langdon. 2001. Production-respiration relationships at different timescales within the Biosphere 2 Coral Reef Biome. *Limnology and Oceanography*. 1653-1660 pp.

Flores-Ramirez, L.A. 2006. Relación entre estrés térmico y daño oxidativo en el coral hermatípico: *Pocillopora capitata*. Tesis de Maestría en Ciencias del Mar. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad de Colima, Manzanillo, Colima, México. 69 p.

Flos, F. 1978. El análisis de los componentes principales aplicados a una serie de variables espectrales. *Inv. Pesq.* 15: 81-101 pp.

Galván-Rowland, L.E. 2010. Determinación de lípidos totales, biomasa, pigmentos y densidad de zooxantelas, en colonias de *Porites panamensis* presentes en Bahías de Huatulco durante el periodo de junio del 2007 a junio del 2008. Tesis de Licenciatura en Biología Marina. Universidad del Mar. Unidad Puerto Angel, Oaxaca. México. 48 pp.

Garrigue, C. 1987. La Production Primaire Benthique, Compilation bibliographique. *Sciences de la Mer, Biologie Marine*, 4-15 pp.

Gattuso, J.P., M. Frankignoulle and S.V. Smith. 1999. Measurement of community metabolism and significance in the coral reef CO₂ source-sink debate. *The Sea, Volume 13: The Global Coastal Ocean: Multiscale Interdisciplinary* 6 17-22 pp.

Gattuso, J.P., D. Allemand and M. Frankignoulle. 1999. Photosynthesis and calcification at cellular, organismal and community levels in coral reefs: a review on interactions and control by carbonate chemistry. *American Zoologist* 39(1) 160-183 pp.

Glynn, P.W. 1996. Coral reef bleaching: facts, hypotheses and implications. *Glob. Change biol* 2:495-509

Glynn, P.W. and G.E. Leyte-Morales. 1997. Coral reefs of Huatulco, Mexico: reef development in upwelling Gulf of Tehuantepec. *Rev. Biol. Trop.* 45:1033-1048 pp.

Gómez, E.D., L.M. Cruz and K.A. Villamor. 2000. The Science behind coral bleaching: Priorities for research and management. *Proc. 9th Int. Coral Reef Symp. USA.* 1:13:30 pp.

Goreau, T.F. and N.I. Goreau. 1960. Distribution of labeled carbon in reef-building corals with and without zooxanthellae. *Science* 131:668-669 pp.

Goreau, T.F., N.I. Goreau and C.M. Yonge. 1971. Reef Corals: Autotrophs or heterotrophs. *Biol. Bull.* 141: 247-260 pp.

Goreau, T.F., N.I. Goreau and T.I. Goreau. 1979. Corales y Arrecifes Coralinos. *Investigación y Ciencia*. 12 48-60 pp.

Harriott, V.J. 1993. Lipids and environmental stress. *Environ. Monitor. and Assess.* 25: 131-139 pp.

Hatcher, B. 1990. Coral Reef Primary Productivity: A hierarchy of Pattern and Process. *Trends Ecology and Evolution* 5(5) 149-155 pp.

Hernández-Urraca, V. 2010. Determinación de biomasa, lípidos totales, pigmentos y densidad de zooxantelas en colonias de *Pocillopora damicornis* (Linnaeus, 1758). En Bahías de Huatulco. Tesis de Licenciatura en Biología Marina, Universidad del Mar. Unidad Puerto Angel, Oaxaca. México. 65 pp.

Hoegh, G.H, P.J. Mumby, A.J. Hooten, R.S. Steneck, Greenfield-P, Gómez-E, Harvell-C, P.F. Sale, A.J. Edwards, K. Caldeira, N. Knowlton, C.M. Eakin, R. Iglesias-Prieto, N. Muthiga, R.H. Bradbury, A. Duby and M.E. Hatziolos. 2007. Coral Reefs Under Rapid Climate Change and Ocean Acidification. *Science* 1737-1742 pp.

Hoegh-Guldberg, O. and G.J. Smith. 1989. The effect of sudden changes in temperature, light and salinity on the population density and export of zooxanthellae from the reef coral *Sylophora pistillata* Esper and *Seriatopora hystrix* Dana. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 129, 279-303 pp.

INEGI 1981. Síntesis Geográfica de Jalisco. Secretaría de Programación y Presupuesto, México, D.F. 306 pp.

Iglesias-Prieto, R. and R.K. Trench. 1994a. Acclimatation and adaptation to irradiance in symbiotic dinoflagellates. I. Responses of the photosynthetic unit to changes in photon flux density. *Mar Ecol. Prog Ser.* 113:163-75 pp.

Iglesias-Prieto, R. and R.K. Trench. 1994b. Acclimatation and adaptation to irradiance in symbiotic dinoflagellates II. Response of chlorophyll protein complex to different photon-flux densities. *Mar. Biol.* 130:23-33 pp.

Jackson, J.B.C. 2001. What was natural in the coastal oceans. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 98:5411-5418 pp.

Jeffrey, S.W. and G.F. Humphrey. 1975. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls *a*, *b*, *c*₁ and *c*₂ I higher plants, algae and natural phytoplankton, en *Biochem. Physiol. Pflanz*, 167:191-194 pp.

Jokiel. P.L., M.P. Lesser and M.E. Ondrusek. 1997. UV absorbing compounds in the coral *Pocillopora damicornis*: Interactive effects of UV radiation photosynthetically active radiation, and water flow. *Limnol. Oceanogr.* 42: 1368-1473 pp.

Kanwisher, J. W and S.A. Wainwright. 1967. Oxygen Balance in Some Reef Corals *Biol. Bull.*, 133: 378-390 pp.

Kohn-Alan J. and Helfrich P 1957. Primary organic productivity of a Hawaiian coral reef. *Limnol. Oceanogr.* 2:24-251 pp.

Krause, G.H y E. Weis. 1991. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. *Annual review of plant physiology and plant molecular biology*, 42, 313-349 pp.

Lalli, C.M. and T.R. Parsons. 1997. Biological oceanography on introduction. Second Edition. The Open University. University of British Columbia, Vancouver, Canada.40-58 pp.

Lewis, C.L. and M.A. Coffroth. 2004. The acquisition of exogenous algal symbionts by an octocoral after bleaching. *Science* 304:1490-1492 pp.

Liñán-Cabello, M.A., L.A. Flores-Ramírez, J.F. Cobo-Díaz, T. Zenteno-Savin, N. Olguin-Monroy, A. Olivos-Ortiz and Tintos Gómez A. 2009. Response to short term ultraviolet stress in the reef-building coral *Pocillopora capitata* (Anthozoa: Scleractinia). *Rev. Biol. Trop.* 58 (1): 103-118 pp.

López-Pérez, R.A., L.M. Hernández-Ballesteros y T. Herrera-Escalante. 2002. Cambio en la dominancia de la comunidad arrecifal en Chachacual, Bahías de Huatulco, Oaxaca, México. *Ciencia y Mar.* 6(6): 33-38 pp.

López-Pérez, R.A., L.M. Hernández-Ballesteros. 2004. "Estructura de coral, comunidad y la dinámica en la zona de Huatulco, oeste de México" *Boletín de ciencias del mar* 75:453-472 pp.

Manrique-Reol, E. 2003. Los pigmentos fotosintéticos, algo más que la capacitación de luz para la fotosíntesis. *Ecosistemas Revista científica de Ecología y Medio ambiente* Vol. XII, núm. 1 Enero-Abril Asociación Española de Ecología. España 12 p.

Margalef, R. 1960 a. Valeur indicatrice de la composition des pigments du phytoplancton sur la productivite, composition taxinomique et proprietes dynamiques des populations. *Rapp Proc. Ver.* 15 (2): 227-281 pp.

Margalef, R. 1960 b. Recientes progresos en el estudio de comunidades por medio de la extracción de pigmentos. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Biol).* 58: 291:300 pp.

Marsh J. A. and S.V. Smith (1978) Productivity measurements of coral reefs in flowing water. In: Stoddart D.R. y R. E. Johannes. *Coral reefs: research methods.* Unesco 581 p.

McCloskey, L. R., D. S. Wethey and J.W Porter. 1978. Measurement of photosynthesis and respiration in reef corals. In: Stoddart D.R. y R. E. Johannes Coral reefs: research methods. England Unesco 581 p.

McConnaughey, A.T, H.W. Adey and M.A. Small. 2000. Community and environmental influences on reef coral calcification. *Limnology and Oceanography* 1667-1671 pp.

Mendoza-González, A, L.E. Mateo-Cid y C. Galicia-García. 2011. Integración florística de las algas marinas de la costa sur de Jalisco. México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82:19-49 pp.

Muscantine, L. 1980. Productivity of zooxanthellae. P. Falkoski (ed.), primary productivity in the sea. *Environmental Sci. Res.*, vol. 9 Nueva York Plenum Press 381-402 pp.

Muscantine, L., P.G. Falkowski, J.W. P.G., Porter, J.W. and Dubinsky, Z. 1984. Fate of photosynthetic fixed carbon in light and shade adapted colonies of the symbiotic coral *Stylophora pistillata*. *Proc R Soc Lon. B* 222: 181-202 pp.

Odum, P.E. 1971. *Ecología*. Interamericana. Tercera edición. University of Georgia. Athens, Georgia. 639 p.

Odum, P.E. 1985. *Fundamentos de Ecología*. Nueva editorial Interamericana. Universidad of Georgia Athens, Georgia 422 p.

Odum, H.T. and E.P. Odum. 1955. Trophic structure and productivity of a windward coral reef community on Eniwetok Atoll. *Ecol. Monogr.* 25: 291-320 pp.

Reyes-Bonilla, H. y A.R. López-Pérez. 1988. Biogeografía de los corales pétreos. (Scleractinia) del Pacífico de México. *Ciencias Marinas* 26: 511-531 pp.

Reyes-Bonilla, H; Riosmena-Rodríguez R. Fosters, M.S. 1997. Hermatypic corals associated with rhodolith beds in the Gulf of California. *Pac. Sci.* 51:328-337 pp.

Reyes-Bonilla, H. y G.E. Leyte-Morales. 1998 "Los corales y los arrecifes de coral de la región de Puerto Ángel, la costa oeste de México." *Revista de Biología tropical* 46:679-681 pp.

Rico-Esenaro, D.S. 2010. Balance metabólico de la asociación mutualística alga-pólipo en el coral hermatípicos *Porites panamensis*, Verrill 1866, en La Paz Baja California Sur, México. Tesina de Servicio Social de la Licenciatura en Biología. Universidad Autónoma Metropolitana. 19 p.

Ríos-González, K.G. 2004. Evaluación del repoblamiento en el arrecife de Playa Mora, Tenacatita, Jalisco, México. Tesis de Licenciatura en Biología. División de Ciencias Biológicas del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara. 52 p.

Rodríguez-Troncoso A.P. 2006. Ciclo reproductivo de tres especies de corales formadoras de arrecifes en Bahía La Entrega, Oaxaca, México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California, México. 118 p.

Rogers, S.C. 1979. The productivity of San Cristobal Reef, Puerto Rico. *Limnology and Oceanography* 342-349 pp.

Rupert, E. E. y Barnes-D R. 1996. Zoología de los Invertebrados. McGraw-Hill Interamericana. México. 1114 pp.

Sánchez, M.J.A., Cadena, J., A. Grajales, Porto, Isabel. 2005. ¿Por qué están muriendo los corales? Blanqueamiento coralino: Causas, consecuencias e hipótesis. *Revista Hipótesis. Apuntes científicos Uniandinos.* 5:14-22 pp.

Sargent, M. C. and T.S. Austin. 1949. Organic productivity of an atoll. Amer. Geophys. Union Trans., 30: 245-249 pp.

Signoret M., H. Santoyo y A.G. Zapata 1987. Balance metabólico de la asociación de corales hermatípicos-productores primarios en el arrecife de Isla Verde, Veracruz Memorias del V Simposio de Biología Marina Universidad Autónoma de Baja California Sur 143-167 p.

Signoret-Poillon, Ma. Teresa 1997. Productividad primaria en sistemas acuáticos costeros: Métodos de evaluación cap. 6: Productividad primaria de algas simbiotes con corales. En: Libros de texto / UAM 73-77 pp.

Smith, S.V. and R.W. Buddemeier. 1992. Global Change and coral reef ecosystem. Ann Rev. Ecol. Nt. 23:89-118 pp.

Veron, J.E.N. 1986. Corals of Australia and the Indo Pacific. Australian Institute of Marine Science, Townsville. Agnus and Robertson. Sydney. Australia. 644 p.

Veron, J.E.N. 2000. Corals of the World. Australian Institute of Marine Science, Townsville. Sydney. Australia. 404 p.

Wyrtki, K. 1965. Surface currents of the tropical Pacific Ocean. Interamerican Tropical Tuna Commission. Vol. IX, N° 5, 268-305 pp.

Yonge, CM, 1963. The biology of coral reefs. Adv. Mar. Biol. 1:209-260 pp.

Yonge, CM, 1968. Living corals. Rev. Proc. Roy. Soc. B. 169:329-344 pp.

ANEXOS

Anexo 1. Radiación solar medida en $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ (irradianza) dentro del sistema, d.s, máx. y mín. durante los 3 días de incubaciones.

día	periodo	sistema	d.s	max	min
1	8:00	33	2.762	37.78	32.99
1	9:00	118.47	27.899	145.12	89.47
1	11:00	454	53.394	513	409
1	12:00	476	28.005	509	460
1	14:00	426	47.127	475	381
1	15:00	437.33	83.032	533	384
1	17:00	75.12	27.214	92.94	43.8
1	18:00	6.35	6.359	14.28	2.0
2	8:00	30.36	7.383	38.07	23.35
2	9:00	154.33	98.784	233.1	43.77
2	11:00	459	41.236	490	412.2
2	12:00	151.64	32.507	177.6	115.2
2	14:00	393.3	31.723	412.9	356.7
2	15:00	333.86	54.610	396.9	300.8
2	17:00	66.51	39.438	100.24	23.15
2	18:00	6.82	2.037	9.13	5.27
3	8:00	0	0	0	0
3	9:00	0	0	0	0
3	11:00	0	0	0	0
3	12:00	354.93	113.305	420.8	224.1
3	14:00	389.63	183.398	590.4	230.9
3	15:00	438.46	146.231	595.5	306.2
3	17:00	122.51	52.556	183.2	92.09
3	18:00	0	0	0	0

Anexo 2. Temperatura dentro del sistema durante los 3 días de incubaciones.

día	periodo	temperatura °C
1	12:00	31.3
1	14:00	31.4
1	15:00	31.4
1	17:00	31.3
1	18:00	31
1	20:00	31
1	21:00	30.9
1	23:00	30.9
1	00:00	31.1
1	02:00	30.8
1	03:00	30.8
1	05:00	30.8
1	06:00	30.9
1	08:00	30.9
1	09:00	31.4
1	11:00	32
2	12:00	32.1
2	14:00	32.8
2	15:00	32.4
2	17:00	32.3
2	18:00	32.1
2	20:00	31.7
2	21:00	31.6
2	23:00	31.6
2	00:00	31.7
2	02:00	31.5
2	03:00	31.5
2	05:00	31.5
2	06:00	31.6
2	08:00	31.6
2	09:00	32
2	11:00	32.7
3	12:00	33.1
3	14:00	33.3
3	15:00	33.4
3	17:00	32.9
3	18:00	32.6
3	20:00	32.3
3	21:00	32.1
3	23:00	32.1
3	00:00	32.2
3	02:00	31.9
3	03:00	31.9
3	05:00	32.1
3	06:00	31.1
3	08:00	32.1
3	09:00	32.6
3	11:00	33.2

Anexo 3. Valores promedio de pH dentro del sistema, d.s, max y min.

día	periodo	sistema	d.s	max	min
1	08:00	7.85	0.1	7.9	7.8
1	11:00	7.7	0.1	7.9	7.8
1	14:00	7.6	0	7.9	7.9
1	17:00	7.7	0	7.8	7.8
1	20:00	7.7	0	7.8	7.8
1	23:00	7.8	0	7.8	7.8
1	02:00	7.9	0.1	7.9	7.8
1	05:00	7.9	0	8.1	8.1
2	08:00	8.05	0	8	8
2	11:00	7.85	0.1	8	7.9
2	14:00	7.7	0	7.9	7.9
2	17:00	7.7	0	7.8	7.8
2	20:00	7.8	0	7.8	7.8
2	23:00	8	0	7.8	7.8
2	02:00	8.05	0.1	7.9	7.8
2	05:00	8.1	0	8.1	8.1
2	05:00	8.1	0	8.1	8.1
3	08:00	8.1	0	8.1	8.1
3	11:00	8.05	0	8.1	8.1
3	14:00	7.85	0.070	7.7	7.6
3	17:00	7.85	0.070	7.8	7.7
3	20:00	7.8	0	7.8	7.8
3	23:00	7.9	0.14	7.9	7.7
3	02:00	8.05	0	7.9	7.9
3	05:00	8.1	0	7.9	7.9

TESIS/CUCBA