



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

BIOLOGÍA MARINA

TITULO:

EFFECTO DEL FOTOPERIODO EN FRAGMENTOS DE *POCILLOPORA CAPITATA* EN UN SISTEMA CERRADO

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

PRESENTA:

BIOL. ADRIÁN GIRÓN OJEDA

TUTORA PRINCIPAL

DRA. DENÍ RODRÍGUEZ VARGAS, FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR

DR. GUILLERMO HORTA PUGA, FES IZTACALA, UNAM

DR. RAMÓN ANDRÉS LÓPEZ PÉREZ, UAM IZTAPALAPA

DRA. ANASTAZIA BANASZAK, ICML PUERTO MORELOS, UNAM

DR. EUGENIO CARPIZO ITUARTE, IIO, UABC

CIUDAD DE MÉXICO, DICIEMBRE, 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Universidad Nacional Autónoma de México
Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología

Efecto del fotoperiodo en fragmentos de *Pocillopora capitata* en un sistema cerrado

T E S I S

que para obtener el grado académico de

Maestro en Ciencias
(Biología Marina)

presenta

Biol. Adrián Girón Ojeda

Directora de Tesis: Dra. Dení Rodríguez Vargas

Comité académico:

Dr. Guillermo Horta Puga

Dr. Ramón Andrés López Pérez

Dra. Anastazia Banaszak

Dr. Eugenio Carpizo Ituarte

Ciudad de México, 2020

Agradecimientos

A la UNAM por ser una casa de estudios de invaluable riqueza, diversidad y cultura.

A CONACyT por la beca, al Proyecto DGAPA-PAPIIT IN220714 por el financiamiento.

Al Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología por su apoyo PAEP para realizar un curso en la Unidad Académica de Sistemas Arrecifales del ICMYL Puerto Morelos.

Al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Ciudad Universitaria, por su entero apoyo y por su orientación en situaciones difíciles.

Al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, la Unidad Académica de Sistemas Arrecifales, Puerto Morelos, por su apoyo hospitalario.

A mi tutora principal la Dra. Dení Rodríguez por su dirección y colaboración en este proyecto de tesis.

A la UMDI-Z, los doctores Carlos Candelaria y Norma López por apoyo logístico y académico en la prospección de Zihuatanejo, a la Dra. Ligia Collado por su apoyo en la toma y tratamiento de datos de intensidad lumínica.

A la M. en C. Ivette Ruiz por el apoyo en el tratamiento de datos así como en el análisis de fosfatos y silicatos.

A la Dra. Anastazia Banazsak por su excelente e invaluable curso De la Reproducción de Corales a la Restauración de Arrecifes el cual fue una experiencia y complemento fundamental a mí conocimiento de la biología reproductiva coralina.

Al Dr. Guillermo Horta por su excelente e invaluable curso de Arrecifes de Coral el cual fue un complemento fundamental y de gran enriquecimiento a mí conocimiento de la biología de corales.

A los doctores Andrés López y Eugenio Carpizo por su invaluable apoyo académico, guía e interés como tutores en este proyecto de tesis.

A la Dra. Hilda León por el préstamo de un radiómetro LI COR[®] y data logger.

A la M. en C. Diana Grisel Ríos por su apoyo y análisis en el manejo de estadística.

Al M. en C. Martín Fuentes por su apoyo en tecnología LED.

A Luis Muñoz por el apoyo en el material para la construcción del sistema.

A Daniel Rodríguez por su apoyo en animales de limpieza y accesorios de vanguardia.

ÍNDICE

Resumen.....	5
1. Introducción.....	7
2. Antecedentes.....	9
-Biología del género <i>Pocillopora</i>	9
- <i>Pocillopora</i> en México.....	9
-Estudios sobre especies de <i>Pocillopora</i> en la región de Ixtapa-Zihuatanejo.....	10
-Técnicas de mantenimiento de corales <i>in situ</i> y <i>ex situ</i>	10
-Importancia en estudios de variación del fotoperiodo en corales.....	12
3. Justificación.....	13
4. Planteamiento del problema.....	13
5. Hipótesis.....	14
6. Objetivo General.....	14
7. Objetivos Particulares.....	14
8. Materiales y Métodos.....	15
9. Resultados.....	22
10. Discusión.....	30
11. Conclusiones.....	38
12. Referencias bibliográficas.....	39
13. Anexo de información complementaria.....	48

Resumen

En este trabajo se estudió el crecimiento y sobrevivencia de fragmentos de *Pocillopora capitata*, recolectados en Playa Las Gatas, Zihuatanejo, Guerrero, México, en un sistema de recirculación *ex situ* expuestos a cuatro condiciones lumínicas con el objetivo de determinar cuál es el fotoperiodo más favorable para su cultivo en condiciones de laboratorio. Se emplearon las condiciones de fotoperiodo de 11:13 Luz:Oscuridad (LO), 12:12 LO y 13:11 LO, las cuales ocurren de manera natural y cíclica en el área de colecta, y un fotoperiodo de 16:8 LO. Se emplearon 12 fragmentos para cada condición de fotoperiodo (de 0.41 a 1.50 cm²). Se registró el aumento en área de cada fragmento con una periodicidad mensual durante el periodo experimental (248 días), el peso se registró al inicio, a la mitad y al final del periodo experimental. A partir de lo anterior, se determinaron las tasas de crecimiento en área y las tasas de aumento en peso. Los resultados de este trabajo demuestran que *Pocillopora capitata* es capaz de aclimatarse a fuentes híbridas de iluminación (LED y T5) y crecer en diferentes regímenes de luz, que incluyeron desde 11 hasta 16 horas a 300 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ de luz fotosintéticamente activa con 100% de sobrevivencia. La fase experimental se dividió en dos periodos para evitar un sesgo estadístico. En el primer periodo la condición que destaca por su crecimiento en área y aumento en peso es 11:13 LO, sin embargo, entre las tasas de aumento en peso no se encontraron diferencias estadísticamente significativas. En el segundo periodo la condición donde se observó mayor crecimiento en área y aumento en peso fue 16:8 LO siendo estadísticamente significativa respecto a todas las condiciones de fotoperiodo. El uso de un fotoperiodo 16:8 LO con la configuración lumínica de esta estudio a 300 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ es una opción para resaltar los pigmentos fluorescentes verdes y/o rosas que se vuelve una cualidad para su comercio contribuyendo a reducir la colecta en arrecifes y comunidades de coral. El tamaño de los fragmentos determinó en gran medida la tasa de crecimiento. El área tanto el peso son validados como parámetros útiles de crecimiento para tallas de fragmentos de $\approx 1\text{cm}$ de *Pocillopora capitata*.

Palabras clave: *Pocillopora capitata*, coral, crecimiento, fotoperiodo, sistema cerrado.

Summary

In this work the growth and survivorship of fragments of *Pocillopora capitata* were studied, collected from Playa Las Gatas, Zihuatanejo, Guerrero. This work was carried out in an *ex situ* recirculating system with 4 different modules where 4 different lighting conditions were managed with the objective to determine which is the most favorable photoperiod for culturing *Pocillopora capitata* in aquarium conditions. Photoperiod conditions were 11:13 Light:Dark (LD), 12:12 LD and 13:11 LD which occur naturally in the sampling area, and a 16:8 LD photoperiod. Twelve experimental fragments were employed for each photoperiod condition (0.41 to 1.50 cm²). The growth in area was measured by monthly photographic records at the time of the experiment (248 days), weight was registered at the start, middle and end of the experimental phase. Growth rates and weight increment rates were calculated. Results show that *Pocillopora capitata* is able to acclimate to hybrid sources of illumination (LED and T5) and grow under different light regimes of 11 up to 16 hours at 300 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ PAR with 100% survivorship. The experimental phase was divided in two periods to avoid statistical bias. In the first period growth was significantly higher in 11:13 LD, however there is no statistical significance between weight increment rates. In the second period growth and weight were significantly higher in 16:8 LD. With the lamp setting of this study the use of photoperiod 16:8 LD at 300 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ is an option for enhancing green and/or pink fluorescent pigments which gives the corals an important attribute for its commerce, the coral color. This contributes in reducing wild collection in coral reefs and communities. Fragment size determines to a large extent the growth rates. Both weight and area are validated as useful parameters for growth in fragments of ≈ 1 cm of *Pocillopora capitata*.

Key words: *Pocillopora capitata*, coral, growth, photoperiod, closed system.

Introducción

La situación de riesgo generalizado de las comunidades coralinas y los arrecifes de coral ante fenómenos globales como el cambio climático (aumento de temperatura de las aguas oceánicas y acidificación del mar), así como de fenómenos regionales y locales como el aumento de la incidencia e intensidad de los huracanes y el aumento de actividades antropogénicas en las zonas costeras, como el desarrollo urbano y la generación de infraestructura turística (Burke y Maidens, 2005; Burke *et al.* 2011), hacen de fundamental importancia dedicar esfuerzos para conocer y eventualmente resolver los problemas que afectan a estos sistemas litorales, sobre todo en aquellos países donde las regulaciones sobre el manejo de los desechos son escasas o mal implementadas, poniendo en riesgo particularmente a los arrecifes y comunidades coralinas (Sindermann *et al.* 1995).

Las comunidades coralinas en las costas de Guerrero son áreas de interés debido a que representan un puente faunístico entre comunidades coralinas de arrecifes centroamericanos y comunidades coralinas de nuestras costas al norte del país (caracterizadas por una composición simple de especies ampliamente distribuidas) (Reyes-Bonilla y López-Pérez, 1998). La actividad turística nacional e internacional que produce una derrama económica aproximada al 8% del PIB está sustentada entre otros por los destinos de playa. La región de Ixtapa-Zihuatanejo representa una fuente de altos ingresos que la hace uno de los 10 más importantes destinos turísticos del país (Consejo de Promoción turística de México, 2017). En esta región se encuentra entre otras, Playa Las Gatas ubicada en la bocana de la bahía de Zihuatanejo, que es una de las playas más concurridas de la zona con una entrada aproximada de 700,000 turistas anualmente (INEGI, 2008). En ella se realizan actividades subacuáticas importantes, transporte de turistas vía marítima y está sometida a intensa actividad de pesca (Playas México, 2018).

Estudios realizados en Las Gatas muestran que la comunidad coralina está constituida por alrededor de seis especies de *Pocillopora*, una de *Pavona* y una de *Porites* (Victoria, 2007; Corado-Nava *et al.* 2014). Esta comunidad está sometida a grandes presiones por las actividades antropogénicas con tasas de sedimentación en la bahía que pueden alcanzar hasta $1.2 \text{ kg m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ y particularmente en Las Gatas estas tasas son de $234.61 \pm 47.44 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ de origen terrígeno por la deforestación producida a partir de 2004 por disposiciones del gobierno municipal (López *et al.* 2017). Estas altas tasas de sedimentación explican parcialmente la dominancia de céspedes algales en la región (López *et al.* 2017) y seguramente impactan también las tasas de reclutamiento de los corales. Otro impacto importante se observa en el desprendimiento de las colonias de diferentes especies de *Pocillopora* por extracción ilegal y la fragmentación de las ramas externas, reduciendo la cobertura de la especie y produciendo numerosos fragmentos que se acumulan en el fondo que si no logran sobrevivir, forman un banco de esqueletos y disminuye el atractivo del paisaje acuático (obs. pers.).

Sin embargo, en corales ramificados como las especies pertenecientes al género *Pocillopora*, la fragmentación funciona como un mecanismo natural de reproducción asexual, que resulta en el mantenimiento, repoblamiento y recuperación de las comunidades de coral, sobre todo para poblaciones ampliamente dispersas y en constante disturbio como la región del Pacífico Tropical Oeste (Glynn *et al.* 2017), región donde se encuentra Playa Las Gatas.

Esta capacidad natural de recuperación de una colonia coralina a partir de un fragmento de las especies de *Pocillopora*, está siendo utilizada para la generación de programas de restauración de comunidades coralinas, estableciendo grandes cultivos en fondo marino mediante fragmentos fijados en diferentes sustratos para generar crecimiento de nuevas colonias (NOAA, 2013).

Asimismo, fragmentos de otras especies de corales se emplean para generar estudios que permitan resolver cuestiones relacionadas a la reproducción, crecimiento y fisiología coralina mediante sistemas de mantenimiento y propagación *ex situ* (Fig. 1) (Delbeek y Sprung 2005; Schutter *et al.* 2011; Leal *et al.* 2014; Rocha *et al.* 2013a; Rocha *et al.* 2015). Dentro de los sistemas de propagación *ex situ* para corales zooxantelados la luz es un factor fundamental y la cantidad de luz se determina por el fotoperiodo y la densidad de flujo de fotones (Schutter *et al.* 2011). Sin embargo, la selección de los requerimientos lumínicos apropiados suele ser dependiente de la especie y un tanto ambigua ya que un aspecto fundamental de los corales zooxantelados es su capacidad de adaptarse a diferentes ambientes lumínicos (Titlyanov y Titlyanova, 2002).

En Playa Las Gatas, Corado-Nava *et al.* (2014) han demostrado *in situ* que fragmentos de *Pocillopora capitata* son capaces de competir y contrarrestar el crecimiento algal y así constituir una buena fuente para la repoblación de esta especie en la comunidad, por lo tanto algunos fragmentos que caigan al fondo serán capaces de fijarse y crecer bajo condiciones naturales (que implica la variación natural de fotoperiodo que ocurre a lo largo del año). Esta situación ofrece la posibilidad de rescatar algunos fragmentos de oportunidad, es decir fragmentos libres sobre el sustrato, y evaluar la sobrevivencia y el crecimiento *ex situ*, asociado al fotoperiodo natural de la zona (11:13 LO, 12:12 LO y 13:11 LO) simulado con luz artificial.

En este contexto resulta importante promover estudios *ex situ* que permitan obtener información relevante para el cultivo de colonias para uso diverso, por ejemplo, para generar colonias y fragmentos que puedan cubrir la demanda local en el mercado acuarístico y de esta manera contribuir a reducir las presiones de extracción ilegal de los ambientes naturales (Pomeroy *et al.* 2006), por lo que este estudio se propone en condiciones experimentales, evaluar el efecto de diferentes fotoperiodos con luz artificial en la sobrevivencia y el crecimiento de fragmentos de *Pocillopora capitata* procedente de Playa Las Gatas, Zihuatanejo, México.

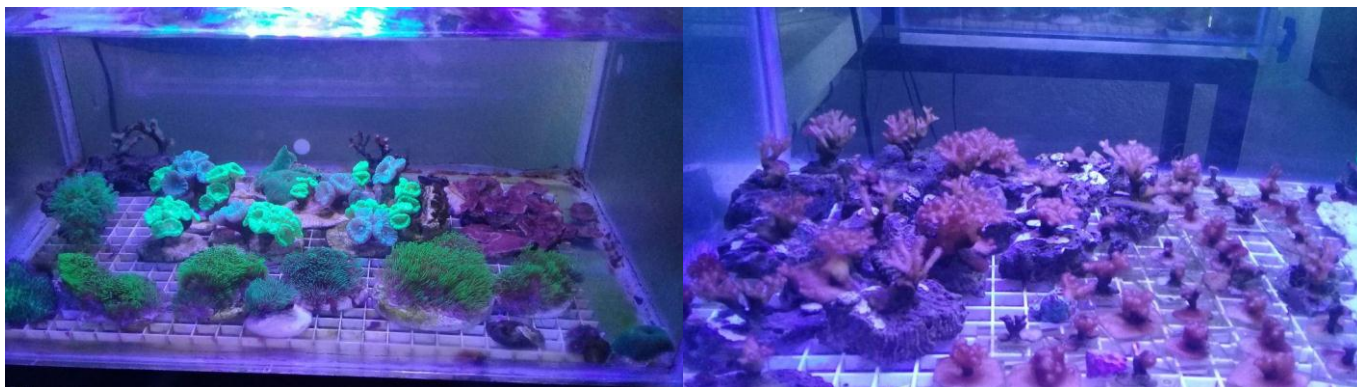


Figura 1. Criaderos de coral *ex situ* en la Ciudad de México, administrados por Adrián Girón.

Antecedentes

Biología del género *Pocillopora*

Pocillopora es un género de corales escleractinios pertenecientes a la familia Pocilloporidae (Gray, 1842), que en general forman ramas delgadas con verrugas regulares e irregulares y cuyas coralitas se encuentran inmersas conteniendo una columela y dos grupos de septos desiguales, o bien pueden carecer de estructuras internas (Delbeek y Sprung 1994). Las colonias pueden desarrollarse en lagunas arrecifales, pendientes arrecifales, marismas intermareales y taludes arrecifales, además de desplegar una diversa variedad de colores desde tonos cafés, verdes y rosados (Veron, 1986).

Las especies de *Pocillopora* tienen diversas formas de reproducción, la sexual por medio de larvas plánulas las cuales son zooxanteladas y se establecen rápidamente en un sitio favorable, el pólipo llega a ser visible en el transcurso de un día y a lo largo de aproximadamente diez días se desarrollan cuatro a cinco pólipos nuevos de manera asexual (Delbeek y Sprung, 1994). También presentan reproducción asexual y la más común e importante es la fragmentación ya que las ramas más frágiles del esqueleto se rompen con facilidad ante algún disturbio mecánico; los fragmentos que caen en un sustrato de roca y bajo condiciones favorables se adhieren y forman nuevas colonias (Delbeek y Sprung, 1994).

Pocillopora es el segundo género más abundante después de *Acropora*, (Pacífico tropical, Océano Índico, Golfo Pérsico, Mar Rojo hasta Australia subtropical) (Veron, 2000); también se le considera uno de los géneros más importantes de corales formadores de arrecifes ya que es muy resistente, prolífico en diferentes ambientes (Forsman *et al.* 2013) y en el Pacífico Tropical Oriental posee tasas de crecimiento elevadas (Guzmán y Cortés, 1992).

Sin embargo, se ha determinado que la región del Pacífico Tropical Oriental representa una zona medianamente a poco adecuada para el establecimiento y desarrollo de arrecifes de coral dado que la plataforma continental no tiene una gran extensión pues se trata de un margen tectónicamente activo; además, posee aguas relativamente frías, experimenta surgencias estacionales (Glynn y Ault, 2000), y en algunas zonas posee baja Ω aragonita (Manzello, 2010). A pesar de ello, en el Pacífico mexicano se encuentran numerosas comunidades coralinas conformadas principalmente por especies de *Pocillopora* y en un menor grado especies de *Pavona* y *Porites* (Glynn y Leyte-Morales, 1997; López-Pérez *et al.* 2012).

Pocillopora en México

Las especies del género *Pocillopora* son comunes en las costas del Pacífico mexicano, registrándose alrededor de 10 especies (Reyes-Bonilla *et al.* 2005) siendo algunas de las más ampliamente distribuidas *P. damicornis*, *P. capitata*, y *P. inflata* (Reyes-Bonilla *et al.* 2017). Por el contrario *P. effusa* parece una especie con distribución restringida a Guerrero y Oaxaca (Veron, 2000), incluso rara pero se encuentra en la región de Ixtapa-Zihuatanejo (Victoria, 2007).

Estudios particulares sobre la biología de las especies de *Pocillopora* y la capacidad de sobrevivencia y crecimiento de fragmentos de *Pocillopora* indican que las tasas de sobrevivencia son altas (Carriquiry y Reyes-Bonilla, 1997; Ayre *et al.* 1997; López-Pérez *et al.* 2007); en general, los fragmentos producidos por tormentas y oleaje caen al fondo, algunos mueren mientras otros se logran fijar en un lugar adecuado sobre el sustrato para desarrollarse y aumentar su competitividad respecto a otras especies (Glynn y Ault, 2000; Reyes-Bonilla, 2003; Reyes-Bonilla *et al.* 2013).

Medellín-Maldonado *et al.* (2016) reportan datos de crecimiento (2.92 ± 0.23 cm año⁻¹), densidad del esqueleto (1.67 ± 0.07 g CaCO₃ cm⁻³) y calcificación (4.87 ± 0.14 g CaCO₃ cm⁻² año⁻¹) para *Pocillopora capitata* en La Entrega, Oaxaca. Además mencionan que la dominancia de *Pocillopora spp.* en la región podría deberse a la relación con *Durusdinium* (clado D) que se destaca por ser tolerante a estrés térmico (LaJeunesse *et al.* 2010, Walther-Mendoza *et al.* 2016, Thinesh *et al.* 2019) lo que puede significar una ventaja adaptativa durante eventos de la oscilación sureña El Niño (Carriquiry *et al.* 2001). La capacidad de reproducirse asexualmente por fragmentación, sus altas tasas de calcificación y extensión son factores importantes que pueden estar favoreciendo la dominancia del género (Medellín-Maldonado *et al.* 2016).

Estudios sobre especies de *Pocillopora* en la región de Ixtapa-Zihuatanejo

Oseguera-Cruz (2004) realizó un estudio de la comunidad coralina de Caleta de Chón, Zihuatanejo donde empleó fragmentos de *Pocillopora meandrina* y los fijó en el sustrato a diferentes profundidades (3.5m, 6m y 10m) para evaluar su crecimiento y sobrevivencia; resultó que a 3.5 m hubo mayor mortandad y a 6 y 10m la mortandad fue cercana a cero, sugiriendo a *P. meandrina* como especie útil en trabajos de repoblamiento coralino en estas profundidades de la localidad.

Victoria (2007) llevó a cabo un mapeo de la estructura de la comunidad de corales escleractinios en Playa Las Gatas, Zihuatanejo y encontró que el género *Pocillopora* es dominante con las especies *P. capitata*, *P. effusa*, *P. verrucosa*, *P. damicornis*, *P. meandrina* y *P. elegans*. Adicionalmente, comparada con otras regiones del Pacífico mexicano, la cobertura coralina promedio, resultó ser más baja, probablemente a consecuencia de las actividades extractivas y turísticas que se llevan a cabo en la zona.

Por su parte, Corado-Nava *et al.* (2014) llevaron a cabo experimentos *in situ* para conocer la competitividad entre céspedes algales y colonias en posición de crecimiento de *Pocillopora capitata* en Playa Las Gatas, Zihuatanejo. Encontraron que en la interacción directa sobre el sustrato, las bases del coral y los céspedes compiten por el espacio, sin embargo, cuando los fragmentos colonizados por céspedes algales se hicieron interactuar con las ramas superiores de la colonia sana no se produce interacción negativa para el coral, sugiriendo alta resistencia de *P. capitata* a condiciones adversas.

Técnicas de mantenimiento de corales *in situ* y *ex situ*

Se ha propuesto un término que se conoce como Jardinería del Arrecife de Coral que está basado en un protocolo que consta de dos pasos: el primero consiste en propagar fragmentos de coral en viveros *in situ* o *ex situ* hasta obtener una talla adecuada, y el segundo consiste en trasplantar o traslocar estas colonias que se han desarrollado en los viveros hacia otro lugar (Rinkevich 1995; Shafir y Rinkevich 2008; Shaish *et al.* 2008). La propagación asexual de corales por medio de la fragmentación comenzó a trabajarse a partir de la década de 1960 (Delbeek, 2001), y hacia mediados de la década de 1990 comenzaron a surgir pequeñas empresas privadas en Estados Unidos y países del Indo Pacífico así como acuaristas dedicados al cultivo de coral con fines de lucro e investigación, y con la preocupación de reducir las presiones de colecta ante la creciente demanda de organismos colectados para proveer al mercado acuarístico (Pomeroy *et al.* 2006).

Fijación y monitoreo

Una fijación firme y segura del fragmento es sumamente importante para su desarrollo y para evitar que no sea traslocado por factores como el paso de caracoles y otros animales. Después de haber realizado la fijación es importante que se realicen observaciones periódicas de los fragmentos para su monitoreo y eliminación de epifauna y macroalgas en caso de ser necesario (Epstein *et al.* 2001; Soong y Chen, 2003; Okubo, 2004; Rinkevich, 2005; Okubo *et al.* 2007).

Importancia del movimiento y flujo del agua

El movimiento del agua que ocurre en el mar es variable y tiene diferentes velocidades y movimientos. Su importancia para los corales radica en varios aspectos: se favorece el intercambio gaseoso así como el intercambio de nutrientes y desechos del coral, y también los corales se alimentan con ayuda de la corriente (Delbeek y Sprung, 1994). Dennison y Barnes (1988) mencionan que se necesita movimiento del agua para que la calcificación ocurra a tasas óptimas ya que un flujo inadecuado del agua puede reducir la tasa de calcificación en la fase de oscuridad hasta en un 60% y durante la fase de iluminación hasta un 25%. Sin embargo, un exceso de corriente puede ser causa de muerte ya que la fricción excesiva debilita el tejido coralino pudiendo llegar a desgarrarlo y el coral queda parcial o totalmente muerto (Delbeek y Sprung, 2005).

Controles biológicos en sistemas cerrados

El uso del alga *Chaetomorpha spiralis* en una sección del sistema cerrado llamado refugio ha demostrado tener efectos quelantes y reductores de nitratos y fosfatos que tienden a acumularse en un sistema cerrado, ya que el alga incorpora estos nutrientes para su desarrollo (Delbeek y Sprung, 2005). Los caracoles, quitones y lapas se pueden usar en sistemas *ex situ* como controles biológicos para mantener a las algas limitadas y controladas, siendo los géneros más empleados *Turbo*, *Trochus*, *Astrea*, *Stomatella* y *Cerith*. Por su parte, los anfípodos son pequeños invertebrados que también forman parte importante al ser herbívoros y carroñeros en sistemas cerrados, de igual manera los copépodos asisten en la alimentación de algas y materia orgánica. El uso de peces herbívoros como cirujanos y algunos blenios resultan muy útiles para mantener a las algas marginadas de los corales. Al conjunto de todos estos organismos que resultan útiles en condiciones de acuario se les denomina equipo de limpieza (Delbeek y Sprung, 2005). Por el contrario, existen otros organismos que pueden resultar perjudiciales para los corales en condiciones de acuario como lo son los caracoles verméticos (obs. pers.), gusanos de fuego, *Aiptasia spp.* o *Anemonia spp.* que si no se controlan pueden dañar e incluso matar al coral en cuestión de pocas horas (Delbeek y Sprung, 1994).

Tamaño del fragmento en *Pocillopora spp.*

En *Pocillopora damicornis* se reportan datos de mayor sobrevivencia en fragmentos que superan 7 cm de diámetro en el Pacífico Tropical Este (Lizcano-Sandoval *et al.* 2018), mientras que en condiciones de acuario (Fig.2) se ha observado que tanto fragmentos grandes como microfragmentos de *Pocillopora spp.* tienen en general buena sobrevivencia (obs. pers.). Para la transportación entre viveros o hacia establecimientos se pueden mantener sumergidos en agua de mar o bien se puede emplear el método seco que consiste en empaques sellados con poca agua para mantener la humedad (Delbeek y Sprung, 1994).

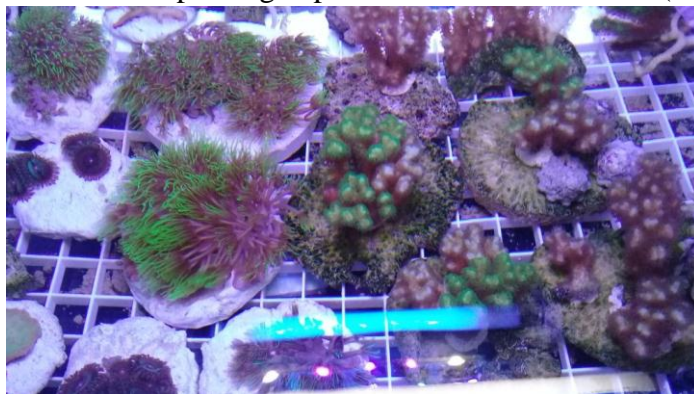


Figura 2. A la derecha se muestran fragmentos de *Pocillopora damicornis* verde en conjunto con fragmentos de *Pocillopora capitata* café en cultivo *ex situ* con una talla adecuada, en este caso para su comercio en el mercado acuarístico.

Importancia en estudios de variación del fotoperiodo en corales

La luz es uno de los múltiples factores que tiene injerencia en el crecimiento de corales escleractinios hermatípicos debido a la interacción coral-zooxantela ya que el alga simbiote realiza fotosíntesis cuando se expone a la luz produciendo oxígeno y fotosintetatos que se traslocan al coral (Muscatine & Cernichiaro, 1969; Muscatine *et al.* 1981). Este proceso se denomina calcificación potenciada por luz y la cantidad de luz disponible para las zooxantelas está determinada por la densidad de flujo de fotones y la duración del fotoperiodo (Schutter *et al.* 2011).

La optimización de la fotosíntesis resulta fundamental en las aguas oligotróficas para asegurar el buen funcionamiento de la simbiosis mediante un proceso que se denomina fotoaclimatación. La fotoaclimatación se define como la modificación fenotípica del aparato fotosintético en respuesta a cambios en la disponibilidad de luz (Hennige *et al.* 2008). Para un organismo fotosintético como un coral en un sistema cerrado, se debe prestar suma atención a tres cualidades de la luz, las cuales son: fotoperiodo, espectro e intensidad. El fotoperiodo se refiere al tiempo que dura una fase lumínica y una fase de oscuridad en las 24 horas del día (Delbeek y Sprung 1994).

El manejo de la luz en sistemas *ex situ* se hace generalmente conociendo los requerimientos específicos de la especie de interés y comprende características cuantitativas, cualitativas y tecnológicas de la luz. Las principales fuentes de luz utilizadas para el cultivo de corales son las lámparas fluorescentes, las lámparas de halogenuros metálicos y los diodos emisores de luz o LED's (Delbeek y Sprung, 2005; Leal *et al.* 2014). La mayoría de estudios que implican a la luz han sido enfocados sobre la cantidad de luz y han dejado a un lado los aspectos tecnológicos y cualitativos de la luz (Leal *et al.* 2014).

La calidad de la luz está en función del espectro, que varía con la profundidad y la fuente de luz (Mass *et al.* 2010; Rocha *et al.* 2013a), Wijgerde *et al.* (2014) mencionan que las fuentes LED son capaces de proveer una amplia gama de colores para el cultivo de coral por la combinación de longitudes de onda que se pueden usar. Schutter *et al.* (2011) mencionan que, si en corales hermatípicos el efecto potenciador de la luz sobre el crecimiento se relaciona con el flujo de fotones recibidos por día y con el fotoperiodo, entonces se puede esperar que una mayor irradiancia resulte en un aumento en las tasas de crecimiento diario; a su vez se puede esperar que el aumento del fotoperiodo dará como resultado un aumento en las tasas de crecimiento diario, sin embargo en sus resultados no encuentran alguna diferencia significativa en las tasas de crecimiento que confirme estas hipótesis.

Algunos estudios indican que ante mayores irradiancias lumínicas se obtiene mayor crecimiento, por ejemplo: Marubini *et al.* (2001) en *Porites compressa* con irradiancias de 80–700 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, Reynaud-Vaganay *et al.* (2001) en *Stylophora pistillata* y *Acropora sp.* con irradiancias de 130–260 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, Reynaud *et al.* (2004) en *Acropora verweyi* con irradiancias de 100–400 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, y Schutter *et al.* (2008) en *Galaxea fascicularis* con irradiancias de 40–400 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Posteriormente Schutter *et al.* (2011) estudiaron el crecimiento bajo diferentes irradiancias y fotoperiodos en el coral *Galaxea fascicularis* empleando fuentes de luz fluorescente entre tratamientos de 8:16 LO, 12:12 LO, 16:8 LO y 24:0 LO bajo irradiancias de 150, 225 y 300 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, y no encontraron diferencias significativas entre los primeros tres tratamientos, mientras que el tratamiento de luz continua experimentó blanqueamiento a los 14 días. Ellos discuten que otros factores pueden entrar en la dinámica del crecimiento en este coral como la especie, tiempos de fotoaclimatación, flujo de agua, entre otros factores. Subsecuentemente Wijgerde *et al.* (2012b) investigaron el efecto del uso de lámparas LED y LEP en el crecimiento de *Galaxea fascicularis*. Sus resultados muestran mayores tasas de crecimiento en corales cultivados con plasma emisor de luz (LEP) a irradiancias de 125–150 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y 275–325 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ que aquellos corales cultivados con LED's.

Rocha *et al.* (2013) estudiaron el efecto de lámparas t5, LED y LEP en la fotobiología y crecimiento de *Acropora formosa* y *Stylophora pistillata*. Sus resultados muestran que tratamientos lumínicos a base de LED tuvieron un efecto positivo en el crecimiento de los corales, sin embargo un exceso de luz (generalmente $>600\mu\text{mol quanta m}^{-2}\text{s}^{-1}$) puede desencadenar un proceso de blanqueamiento y si el coral no es capaz de adaptarse morirá si persisten las condiciones (Hoegh-Guldberg y Smith, 1989; Osinga *et al.* 2008, Schutter *et al.* 2011). Rocha *et al.* (2015) emplearon un sistema integral de tres módulos para cultivo experimental de coral. En su estudio manejan diferentes configuraciones de circulación y flujo del agua así como diferentes condiciones de iluminación para observar el crecimiento, concentración de pigmentos, simbiontes y sobrevivencia en el coral blando *Sarcophyton glaucum*. Mediante sus resultados validan la funcionalidad del sistema y mencionan que la iluminación HQI es más conveniente para este tipo de coral por los costos de producción.

Justificación

El 90% de la comercialización de coral entre 1980 y 1990 se limitaba a esqueletos de coral, pero en las últimas décadas las universidades y acuarios públicos del mundo han conjuntado sus esfuerzos para desarrollar investigaciones sobre el mejoramiento de las técnicas y métodos de propagación *ex situ* de corales para su comercio y/o conservación, produciendo grandes avances en las tecnologías y prácticas para mantener y propagar corales en cautiverio, así como facilitar la importación y exportación, por lo que desde entonces el comercio de coral vivo aumentó un 50% (Green y Shirley, 1999) con tasas de crecimiento anual de esta actividad de 15 a 30% (Pomeroy *et al.* 2006).

Ante los problemas que enfrentan en la actualidad los arrecifes y comunidades coralinas, se están llevando a cabo estudios y aplicando técnicas de cultivo en fondo marino y en laboratorio de diversas especies de coral con fines de repoblamiento y estudio de la dinámica en el arrecife y las comunidades coralinas para su conservación. Corado-Nava *et al.* (2014) sugieren a *Pocillopora capitata* como una especie apta para ser empleada en la propagación asexual por ser resistente a la manipulación. Así, el presente estudio propone la propagación experimental de la especie en un sistema *ex situ* con el fin de evaluar, a partir del crecimiento (en área y peso) de fragmentos, su respuesta a las variaciones del fotoperiodo.

Definir el fotoperiodo más favorable para el crecimiento permitirá, por un lado, un conocimiento mayor de la Biología de la especie y simultáneamente producir fragmentos de esta y otras especies lo que será útil en proyectos de investigación, así como para introducirlos en el mercado y disminuir la presión por extracción (saqueo). La información generada en esta tesis es importante también, para tener un punto de partida para estudios subsecuentes con *Pocillopora capitata* que puedan eventualmente culminar en otros trabajos y mejoras en la conservación y comprensión de las comunidades coralinas de la región de Ixtapa-Zihuatanejo, Guerrero.

Planteamiento del problema

Zihuatanejo, desde hace varios años, se ha convertido en uno de los destinos turísticos nacionales más importantes, entre otros atributos por las características de su litoral, su diversidad fisiográfica, la alta variedad de comunidades bentónicas y la gran riqueza de especies, incluidas las arrecifales, que hacen de alta importancia ecológica y económica a esta región (Nava y Ramírez-Herrera, 2011). Dada la alta afluencia de turismo nacional e internacional y el consecuente desarrollo urbano, Playa Las Gatas presenta signos de deterioro ambiental de origen antropogénico, particularmente las comunidades de coral son las que se encuentran en mayor riesgo (Sindermann *et al.* 1995).

Playa Las Gatas es una de las localidades con mayor afluencia de visitantes en donde se practica el buceo libre y autónomo entre otras actividades recreativas (Playas México, 2018), así como la pesca furtiva de invertebrados asociados a las colonias de coral que son manipuladas para la extracción de diversos animales (obs. pers.). Dado lo anterior, este trabajo es importante para desarrollar propuestas de crecimiento coralino *ex situ* a partir de fragmentos de colonias de coral de especies autóctonas, así como la generación de fragmentos que puedan cubrir la demanda corales de ornato para reducir su saqueo. De esta forma se propone el cultivo de fragmentos de *Pocillopora capitata* para evaluar su respuesta de crecimiento en diferentes fotoperiodos.

***Pocillopora capitata*, Verrill 1864. Especie del presente estudio**



Clasificación taxonómica (Veron, 2000a)

- Reino Animalia (Linnaeus, 1758)
- Subreino Eumetazoa (Buetschli, 1910)
- Phylum Cnidaria (Hatschek, 1888)
- Clase Anthozoa (Ehrenberg, 1834)
- Subclase Hexacorallia (Haeckel, 1896)
- Orden Scleractinia (Bourne, 1900)
- Familia Pocilloporidae (Gray, 1842)
- Género *Pocillopora* (Lamarck, 1816)

DISTRIBUCIÓN: BCS, NAY, JAL, COL, MICH, GRO, OAX
 SINÓNIMOS: *Pocillopora capitata* var. *robusta* Verrill, 1870
Pocillopora robusta Verrill 1870
Pocillopora capitata var. *porosa* Verrill, 1869
Pocillopora porosa Verrill, 1869
Pocillopora capitata var. *pumila* Verrill, 1870
Pocillopora robusta var. *pumila* (Verrill, 1870)

Figura 4. Distribución de *Pocillopora capitata* en el Pacífico Tropical Mexicano.

Pregunta de investigación

¿Cuál es la relación entre la duración del fotoperiodo (horas luz/oscuridad) y el crecimiento del coral *Pocillopora capitata* en un sistema cerrado?

Hipótesis

El fotoperiodo es un factor importante que influye en el crecimiento de corales escleractinios hermatípicos. Por lo tanto, se espera que un periodo más extenso de luz promoverá mayor crecimiento en el coral *Pocillopora capitata*.

Objetivo general

Determinar el efecto del fotoperiodo en el crecimiento y sobrevivencia del coral *Pocillopora capitata* en un sistema cerrado.

Objetivos específicos

- Evaluar diferentes condiciones de fotoperiodo (11:13 LO, 12:12 LO, 13:11 LO y 16:8 LO) para cultivo de fragmentos de *Pocillopora capitata*.
- Determinar el fotoperiodo óptimo para fragmentos de *Pocillopora capitata* en el sistema experimental.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estado de Guerrero, México se localiza en la parte central del país colindando con el Pacífico Tropical Mexicano donde la Corriente Costera de Costa Rica ejerce efecto principalmente (Wyrтки, 1965, 1966). La temperatura superficial media del agua de mar varía entre 25 a 28° C en invierno mientras que en verano oscila alrededor de los 29.5 °C, el régimen de la marea es mixto y semidiurno cuya amplitud de marea es de tipo mesomareal de 2 a 4 metros (Gutiérrez y Cabrera, 2012). Su litoral costero abarca una longitud de 470 km (García-Ibáñez *et al.* 2014) y se conforma por costas rocosas y arenosas, estuarios, deltas, lagunas costeras, manglares y parches arrecifales; debido a esta diversidad fisiográfica y ecosistémica, la costa de Guerrero se considera como una zona de alta productividad ($>300 \text{ g C/m}^2 / \text{año}$) (Wilkinson *et al.* 2009).

La Bahía de Zihuatanejo se encuentra a los 17°37'45''N y 101°33'11''O. Esta bahía se caracteriza por su costa formada de acantilados y farallones separados por playas arenosas en la parte interna. La Bahía tiene 34m de profundidad máxima en su entrada y en la parte central 14m con un promedio de 9m a lo largo de la línea de costa (López-Gómez, 2001). Su litología se compone principalmente de roca metamórfica formada durante el Paleozoico al Mesozoico. El patrón de corrientes en la bahía ocurre de manera circular con dirección de sur a norte, lo que implica que la corriente de agua entra por playa Las Gatas y circula por playa La Ropa y playa La Madera hasta salir en dirección sureste en Punta Godornia (López-Gómez, 2001). Baqueiro (1998) ha registrado la variación de la salinidad entre 31 y 33 ups, y se tiene registro de la temperatura que ha variado entre 25 a 32°C (TWC, 2015). El agua de mar de la zona de Ixtapa-Zihuatanejo se caracteriza por tener condiciones más estables de temperatura superficial respecto a áreas adyacentes (Morales *et al.* 2008) y con mayor Ω aragonita (Reyes-Bonilla *et al.* 2014).

Playa Las Gatas (17°37'16.8'' N, 101°33'08.55'' O) se ubica en la parte sur de la Bahía de Zihuatanejo (Fig. 5), Guerrero, México. Su extensión es de 350m (López-Gómez, 1993) y se compone principalmente de una pendiente arenosa con zonas de guijarros y fragmentos de esqueletos de corales pétreos. En dirección paralela a la playa se encuentra un conglomerado de rocas y guijarros que se le ha denominado pretil cuya extensión lineal es de 70 metros (Urbano, 2004).



Figura 5. Ubicación de Playa Las Gatas dentro de la Bahía de Zihuatanejo (2014 Google Earth).

El clima del área es cálido de tipo subhúmedo con lluvias en verano y se observa a lo largo de cada año una estación de lluvias de mayo a octubre y una de secas de noviembre a abril (Salcedo-Martínez *et al.*, 1988). Esta playa se encuentra orientada de este a oeste con 600 m de amplitud entre las

escolleras que la delimitan, la zona donde se ubica la comunidad coralina se encuentra a 150 m aproximadamente en dirección al noroeste con profundidades que varían entre 3 y 5 m. Se ha registrado que en esta zona la especie dominante de coral hermatípico es *Pocillopora capitata* (Corado-Nava *et al.*, 2014).

Trabajo en campo: prospección en la comunidad coralina

Para conocer la intensidad de luz en que se desarrollan los corales en Playa Las Gatas, Zihuatanejo, se contó con una sola oportunidad para hacer una medición de la intensidad de luz en un día soleado (no representa la variación diaria ni anual), esto se llevó a cabo desde una embarcación con dos radiómetros subacuáticos LI-COR® (UNDERWATER UWQ) (Fig. 6) uno sumergido en la comunidad de estudio a 5 m y otro desde la superficie conectados a un registrador de datos LI-COR 1400®. Se tomaron datos por triplicado en la superficie y a 5m en el sitio de estudio y se obtuvieron los promedios.



Figura 6. Fotómetro subacuático LI-COR UWQ.

Trabajo experimental en el laboratorio: el sistema modular de recirculación

Se instaló un sistema de recirculación de agua que consta de cuatro acuarios de 46 L (50x25x37 cm) interconectados mediante tubería PVC a un reservorio de agua de 250 L. Para mantener el flujo constante el agua se recirculó mediante un sistema de bombas y cabezas de poder (Fig. 7).

Cada acuario fue aislado de la luz externa. Para simular el fotoperiodo, se implementó un sistema de iluminación híbrido (iluminación LED y fluorescente T5) (Fig. 8) conectado a un temporizador programado para simular periodos de amanecer, periodos de máxima irradiancia y periodos de atardecer. De esta manera cuatro condiciones experimentales fueron empleadas: A) 11:13 LO, B) 12:12 LO, C) 13:11 LO y D) 16:8 LO. Las condiciones A, B y C representan las condiciones de fotoperiodo que ocurren durante invierno (11:13 LO), primavera y otoño (12:12 LO) y verano (13:11 LO) de acuerdo a *The Weather Channel* para la zona de Zihuatanejo durante 2015. En general, el sistema de iluminación emitió luz fotosintéticamente activa de $250\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (LED) y de $50\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (focos fluorescentes t5), dando en conjunto $300\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ a 18 cm de profundidad en cada acuario experimental.

Wang *et al.* (2008) en su estudio del efecto de diferentes condiciones lumínicas en zooxantelas encuentra que a partir de 17 horas luz comienza a haber irregularidades en los ciclos reproductivos de zooxantelas del coral *Euphyllia glabrescens*. A este respecto, la condición experimental (16:8 LO) se seleccionó por ser una condición donde probablemente exista un límite de horas luz para la especie de estudio.



Figura 7. Ensamble del sistema experimental y prueba de fugas.

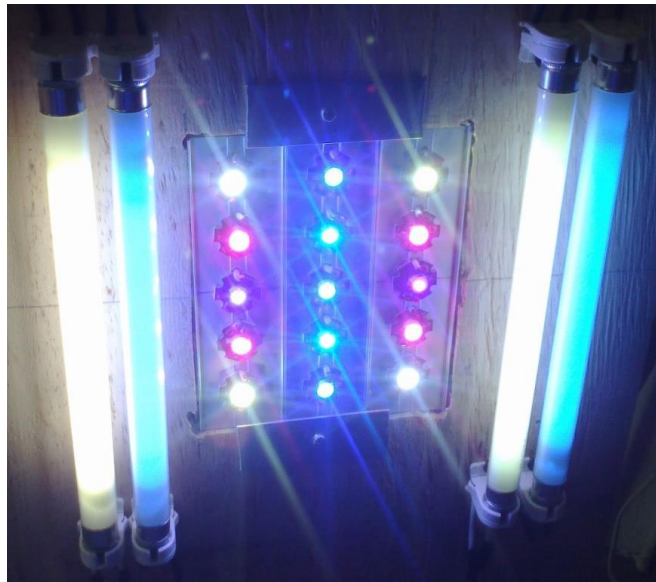


Figura 8. Lámpara híbrida T5/LED. Ensamble de focos T5 (24W): 2 tubos blancos, 2 tubos azules. Madriz de LEDs (45W): 4 cool white, 2 royal blue, 3 actinic, 4 full spectrum, 2 UV.

Se introdujeron controles biológicos al sistema: caracoles del género *Stomatella* sp.(cuyo ciclo biológico se observó de manera natural dentro del sistema), un juvenil de *Lobatus gigas* en cada acuario experimental para evitar la proliferación de algas, y se empleó el alga *Chaetomorpha spiralis* (Fig. 9) por su capacidad para funcionar en el reservorio como filtro biológico de nutrientes, absorber metales pesados (si los hubiera), funcionar como agente quelante y liberar metabolitos benéficos (Delbeek y Sprung, 2005).



Figura 9. Acuarios experimentales arriba y refugio abajo.

Se realizaron mediciones diarias de temperatura y semanales de salinidad, pH, KH (dureza de carbonatos), Ca^{2+} , Mg^{2+} , NO_2 , NO_3 , NH_4 y PO_4 (Red Sea[®] Pro Test Kits). La temperatura del agua se mantuvo estable a 25 ± 0.5 °C mediante un calentador con termostato de precisión (Hydor[®]) y la temperatura del laboratorio se controló con un calefactor de interiores durante invierno y ventiladores en el verano para evitar cambios bruscos de temperatura. Para controlar la salinidad se reemplazó a diario el agua perdida por evaporación con agua filtrada por ósmosis inversa y deionizada. Para el registro de la luz fotosintéticamente activa se empleó en cada acuario experimental el radiómetro subacuático LI-COR[®] (UNDERWATER UWQ) sumergido a 18 cm y conectado al registrador LI-COR 1400[®].

Dosis lumínica

A cada condición experimental de fotoperiodo se le midió y calculó la dosis de luz, al inicio y al final del experimento (Fig. 10), lo que demuestra que las dosis se mantuvieron constantes. Para el cálculo de la dosis lumínica se convirtieron las horas de fotofase de cada fotoperiodo a segundos y posteriormente se multiplican por la intensidad lumínica empleada ($300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). El resultado se reduce de μmol a mol fotones por m^2 recibidos durante el tiempo de exposición a la luz (fotofase).

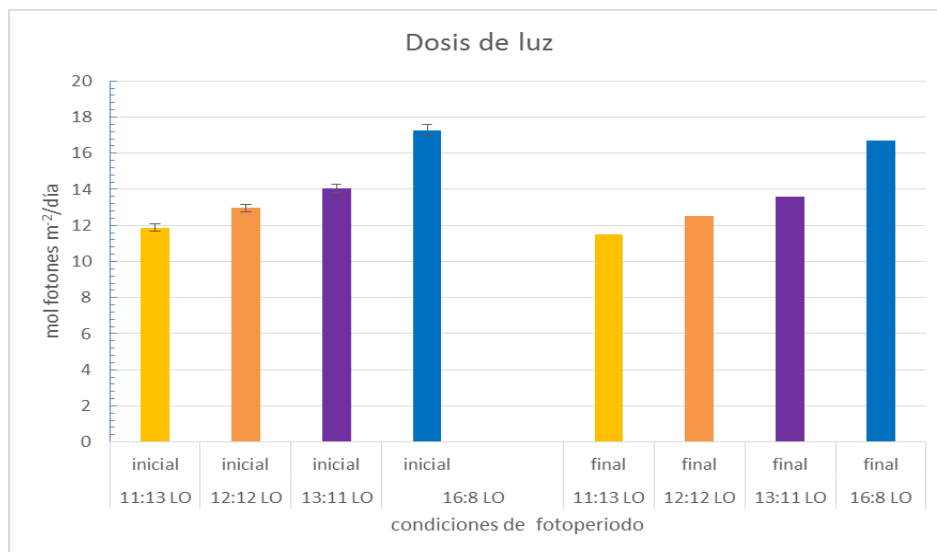


Figura 10. Dosis inicial y final de luz en cada condición de fotoperiodo. No se registra diferencia estadísticamente significativa entre el valor inicial y el valor final en cada tratamiento. Barras de error con desviación estándar.

Obtención de fragmentos, sobrevivencia y aclimatación

Se obtuvieron ocho fragmentos de oportunidad de *Pocillopora capitata* de Playa Las Gatas, Zihuatanejo. Los fragmentos fueron trasladados al laboratorio en la Ciudad de México en junio de 2015 donde se aclimataron y recuperaron en un acuario de propagación de 700 litros aproximadamente con equipamiento para mantenimiento y propagación de fragmentos de coral. Algunos fragmentos llegaron con cierto grado de blanqueamiento, lesiones en el cenostelo, partes expuestas del esqueleto y epibiontes, por lo que antes de ser colocados en el acuario fueron tratados y limpiados manualmente.



Figura 11. Como ejemplo se muestra de izquierda a derecha el mismo ejemplar de *Pocillopora capitata* en varias etapas durante y después del periodo de aclimatación. Izquierda: Se observa el esqueleto expuesto empezado a ser colonizado por diatomeas. Centro y derecha: recuperación de lesiones y crecimiento del ejemplar.

Una vez colocados los fragmentos en el acuario y al paso de pocas horas los corales comenzaron la apertura y extensión de sus pólipos y a los pocos días se prosiguió a fijarlos en una base de roca calcárea ya que se notaba mejoría. Al cabo de una semana aquellos corales que tenían expuesto el esqueleto se comenzaron a cubrir por diatomeas, sin embargo cada coral fue capaz de contrarrestar el crecimiento algal y sanar por completo sus heridas al paso de pocos días (Fig.11 centro y derecha). La sobrevivencia fue de 100% en todos los fragmentos (Figs. 12 y 13).



----- 1cm

Figura 12. Fragmento de *Pocillopora capitata* fijado en una roca base.



--- 1cm

Figura 13. Ejemplares de *Pocillopora capitata* de Playa Las Gatas, Zihuatanejo en 2015. Estos especímenes funcionan como fuente de fragmentos o colonias madre.

Experimentación

Mediante la técnica de jardinería de coral, una de las ocho colonias de *P. capitata* recolectadas de Las Gatas que se aclimataron y crecieron *ex situ* (Fig.13), fue fragmentada para obtener mínimo 48 fragmentos experimentales de ≈ 1 cm lineal (de aprox. 0.41 cm^2 los más pequeños a 1.50 cm^2 los más grandes). Se seleccionaron de manera aleatoria 12 fragmentos para cada condición de fotoperiodo (Fig. 14). Los fragmentos fueron pesados y fijados con cianoacrilato a bases de vidrio previamente pesadas y etiquetadas. Los fragmentos fueron pesados en enero (peso base + peso fragmento), mayo y septiembre de 2017.



Figura 14. Fragmentos clones de *Pocillopora capitata*, listos para pesar y fijar a su base.

Análisis fotográfico

Se registró el crecimiento en área (cm^2) mediante el análisis de imágenes fotográficas. Los fragmentos fueron fotografiados individualmente, siempre de frente y en las siguientes fechas: enero (19/01/17), marzo (14/03/17), abril (15/04/17), mayo (11/05/17), junio (17/06/17), julio (18/07/17), agosto (17/08/17) y septiembre (12/09/17). Las imágenes fueron procesadas mediante SIGMA SCAN PRO 5[®] (Fig. 15). Para ello se calibró cada una de las imágenes tomadas a escala real y se trazó el perímetro del coralo para obtener el resultado del área en los diferentes meses de registro.

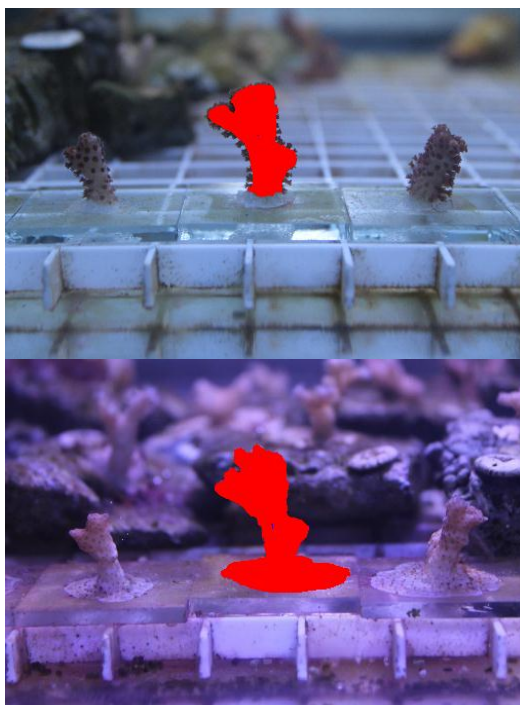


Figura 15. Fragmento no.5 de *Pocillopora capitata* del fotoperiodo 11:13 LO. Arriba: área inicial en enero sombreada en rojo. Abajo: crecimiento de área hasta el mes de mayo sombreada en rojo.

Análisis de datos

Pre tratamiento de datos

A partir de los datos iniciales y finales de área y peso, se calculó la tasa de crecimiento ($\text{mm}^2/\text{día}$) y de aumento en peso ($\text{mg}/\text{día}$). Para ello se sacaron las diferencias entre los datos iniciales y cada periodo de registro ($A_f - A_i$ y $P_f - P_i$).

Evaluación de supuestos

Se tomaron en cuenta dos periodos para evitar un sesgo estadístico. Un periodo de enero a mayo y otro periodo de mayo a septiembre. Estos periodos se diferencian por la caída abrupta de las tasas de crecimiento a partir de finales de mayo. Respecto a las tallas iniciales no se realizó una resolución en el efecto de la diferencia de talla inicial (el rango de las tallas iniciales es de 0.41 a 1.50 cm^2).

Pruebas a posteriori

Las tasas de crecimiento y peso fueron analizadas mediante análisis de varianza (ANOVA) de una vía de medidas repetidas para evaluar diferencias entre periodos (tiempo) y entre tratamientos (fotoperiodos).

Para evaluar que los corales hayan permanecido expuestos a las mismas condiciones de laboratorio excepto la modificación en el fotoperiodo, se aplicó un análisis de varianza multivariado (MANOVA) de una vía a las variables de salinidad, $^{\circ}\text{C}$, pH, KH, NO_2 , NO_3 , PO_4 , Ca^{2+} y Mg^{2+} .

Resultados

Tasas de crecimiento en área

En cada condición experimental el crecimiento resultó variable. Las tasas de crecimiento promedio denotan cuánto crecieron en general los fragmentos de cada condición experimental a lo largo de los meses de registro (Fig. 16), donde se pueden observar dos periodos: un periodo de enero a mitad de mayo y otro periodo de mayo a septiembre. Estos periodos se diferencian por la caída abrupta de las tasas a partir de finales de mayo. En el primer periodo (enero hasta mayo) se observa un crecimiento continuo en todas las condiciones, siendo menor en la condición 12:12 LO y mayor en la condición 11:13 LO que destacó en abril y mayo respecto a las demás condiciones experimentales. Inversamente en el segundo periodo (may-sep) son las condiciones 13:11 LO y 16:8 LO en donde se puede observar desarrollo y crecimiento a partir de agosto, mientras que las condiciones 11:13 y 12:12 LO se estancaron en su crecimiento a partir de junio.

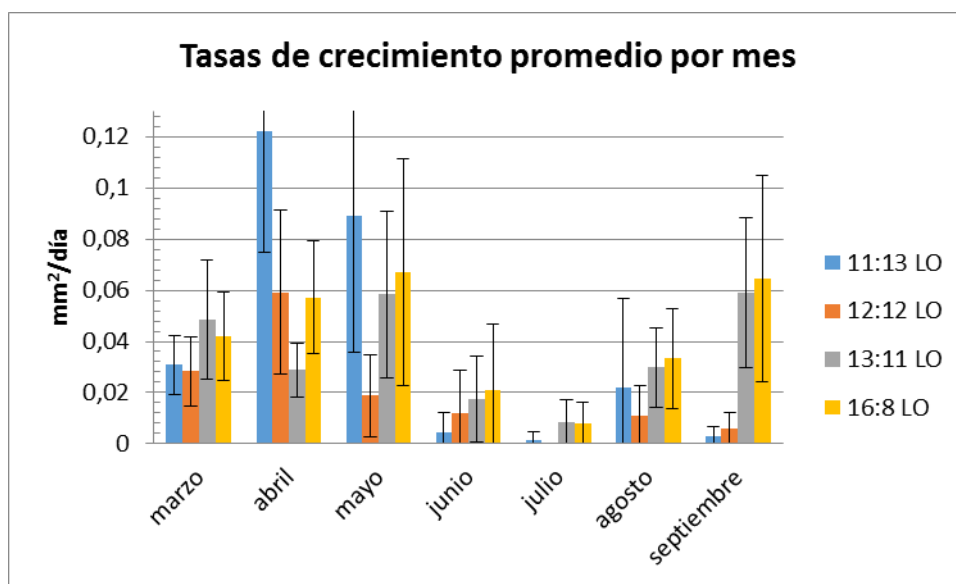
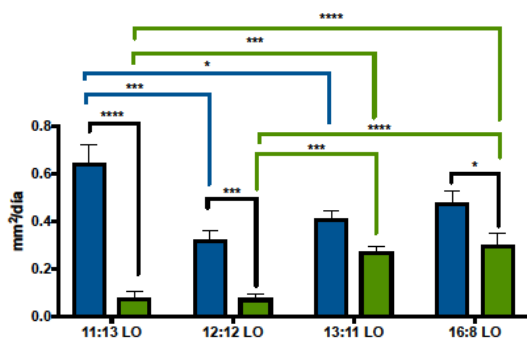


Figura 16. Tasas de crecimiento por mes en cada condición de fotoperiodo, promedios con barras de error con desviación estándar.

Análisis estadístico y comparativo del crecimiento en cada periodo

A) Tasas de crecimiento en área



B) Tasas de aumento en peso

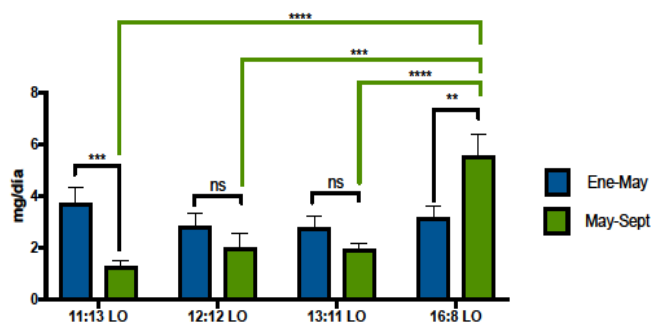


Figura 17. A) Tasas de crecimiento en área (promedios) por condición de fotoperiodo, en azul: ene-may; en verde: may-sep. Significancias estadísticas *: $P < 0.01$, ***: $P < 0.001$, ****: $P < 0.0001$.

B) Tasas de aumento en peso (promedios) por condición de fotoperiodo, en azul: ene-may; en verde: may-sep. Significancias estadísticas ns: no significativo, *: $P < 0.01$, ***: $P < 0.001$, ****: $P < 0.0001$.

A) Entre periodos: para las tasas de área, la ANOVA indica que hay diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.01$) (Fig. 17 A significancias negras ■) a excepción de la condición 13:11 donde no se detectó alguna diferencia significativa entre periodos.

Entre tratamientos por periodo: En ene-may la condición 11:13 LO difiere significativamente de 12:12 LO ($P < 0.001$) y 13:11 LO ($P < 0.01$) siendo la condición con mayor desempeño en el crecimiento (Fig. 17 A significancias azules ■). En may-sep las condiciones 16:8 y 13:11 LO tienen mejor desempeño y difieren significativamente de 11:13 LO y 12:12 LO ($P < 0.001$) (Fig. 17 A significancias verdes ■).

B) Entre periodos: para las tasas de aumento en peso la ANOVA detecta diferencias significativas en 11:13 LO y en 16:8 LO (Fig. 17 A significancias negras ■).

Entre tratamientos por periodo: No se detectan significancias en el primer periodo (ene-may). Durante el segundo periodo (may-sep) la condición 16:8 LO destaca respecto a las demás (Fig. 17 B barras verdes) por lo que la ANOVA detecta que hay diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.001$) respecto a cada condición de fotoperiodo (Fig. 17 B significancias verdes ■).

A continuación se presenta una tabla comparativa y sintética (Tabla 1) de los resultados en las condiciones experimentales donde se puede observar la sobrevivencia y eficiencia de crecimiento en área y en peso en cada periodo.

11:13 LO

Ene-may	May-sep
Crecimiento en área: mayor que todos	Crecimiento en área: menor que todos, baja en las tasas de 85.94%
Aumento en peso: mayor que todos	Aumento en peso: menor, baja en las tasas de 68.43%
100% de sobrevivencia	Mortalidad parcial de pólipos, blanqueamiento

12:12 LO

Ene-may	May-sep
Crecimiento en área: menor que todos	Crecimiento en área: menor que todos, baja en las tasas de 77.15%
Aumento en peso: menor	Aumento en peso: menor, baja en las tasas de 65.63%
100% de sobrevivencia	100% de sobrevivencia, blanqueamiento

13:11 LO

Ene-may	May-sep
Crecimiento en área: intermedio entre condiciones	Crecimiento en área: mayor, baja en las tasas de 35.56%
Aumento en peso: menor	Aumento en peso: intermedio, baja en las tasas de 63.64%
100% de sobrevivencia	100% de sobrevivencia, blanqueamiento y recuperación

16:8 LO

Ene-may	May-sep
Crecimiento en área: intermedio entre condiciones	Crecimiento en área: intermedio, baja en las tasas de 19.57%
Aumento en peso: mayor	Aumento en peso: mayor que todos, alza en las tasas de 60%
100% de sobrevivencia	100% de sobrevivencia, blanqueamiento y recuperación

Tabla 1. Análisis sintético y comparativo de eficiencia del crecimiento en fragmentos de *Pocillopora capitata* en las cuatro condiciones experimentales.

Comportamiento del crecimiento en las diferentes condiciones experimentales

Condición de fotoperiodo 11:13 LO

Se muestra el crecimiento de *Pocillopora capitata* en esta condición de fotoperiodo a lo largo de enero donde los fragmentos estaban recién fijados a su base (Fig.20, A), a la semana de haberlos fijado fue notorio que comenzó el crecimiento de pólipos en la zona basal de cada fragmento. Los fragmentos continuaron su crecimiento y para el mes de marzo la mayoría de los fragmentos ya contaban con varios pólipos basales (Fig.20, B), la coloración en todos se tornó de marrón oscuro hacia café claro. Hacia principios del mes de mayo se extiende el crecimiento basal en cada fragmento (Fig.20, C), y para mediados de mayo los fragmentos cerraron sus pólipos con mayor frecuencia y cesó el crecimiento hacia fines de mayo. Durante junio no se observó crecimiento y ocurrió mortalidad parcial de pólipos en todos los fragmentos (Fig.20, D indicado con flechas blancas), sin embargo, todos sobrevivieron al final. En el mes de septiembre se registró muy poco crecimiento (Fig.20, E).

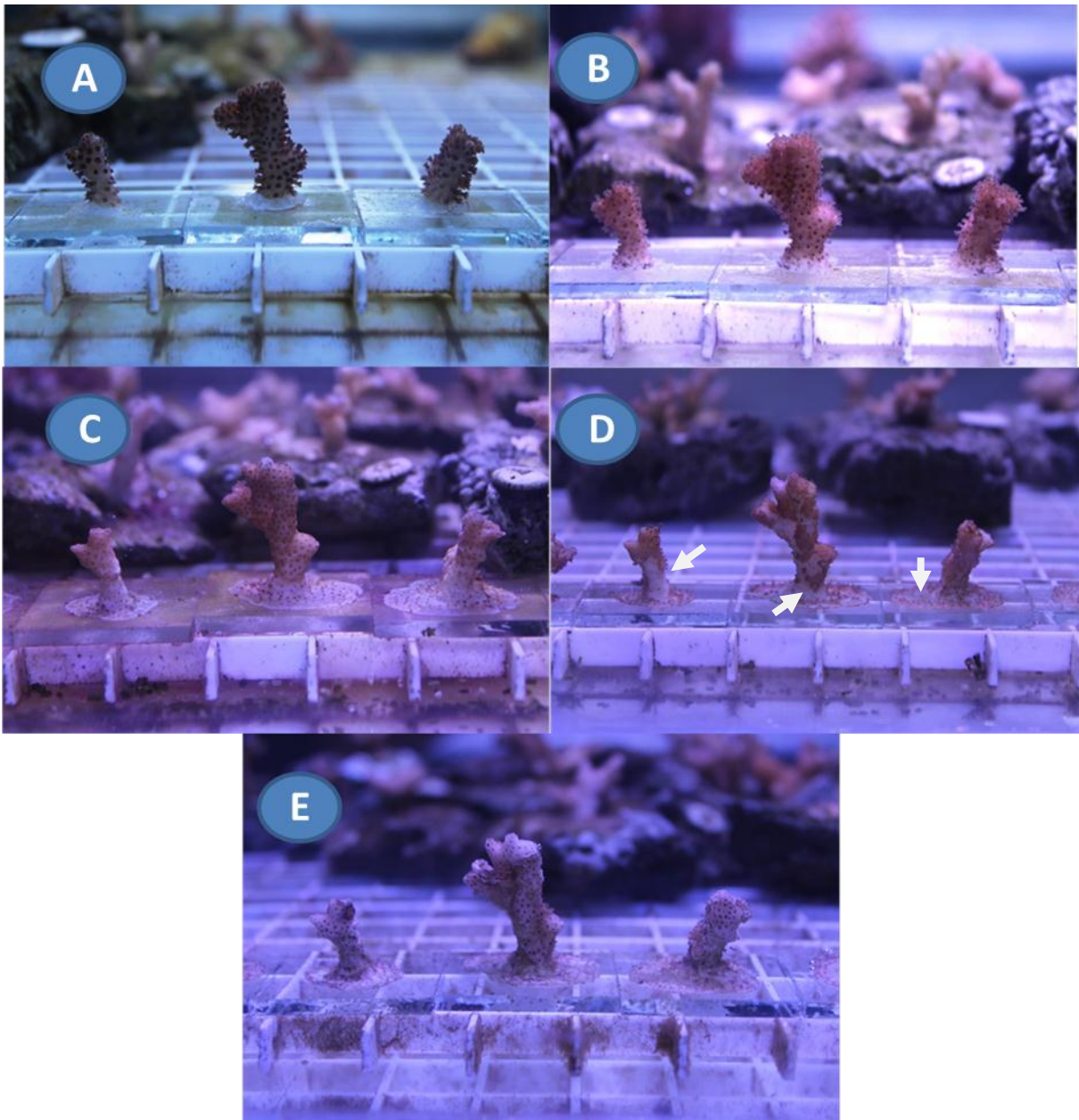


Figura 20. Ejemplares de *Pocillopora capitata* en la condición de fotoperiodo 11:13 LO en enero (A), marzo (B), mayo (C), junio (D) las flechas blancas indican áreas de mortalidad parcial, y septiembre (E).

Condición de fotoperiodo 12:12 LO

Se muestra el crecimiento de *Pocillopora capitata* en esta condición de fotoperiodo a lo largo de enero donde los fragmentos estaban recién fijados a su base (Fig.22, A), a la semana de haberlos fijado fue notorio que comenzó el crecimiento de pólipos en la zona basal de cada fragmento. Los fragmentos continuaron creciendo y para el mes de marzo la mayoría de los fragmentos ya contaban con varios pólipos basales (Fig.22, B). Hacia comienzos del mes de mayo se observa que hay crecimiento basal (Fig.22, C). Durante mediados de mayo los fragmentos cerraron sus pólipos con mayor frecuencia y cesó el crecimiento al final del mes (Fig.22, D). Durante junio no se registró crecimiento y durante septiembre fue mínimo (Fig.22, E).

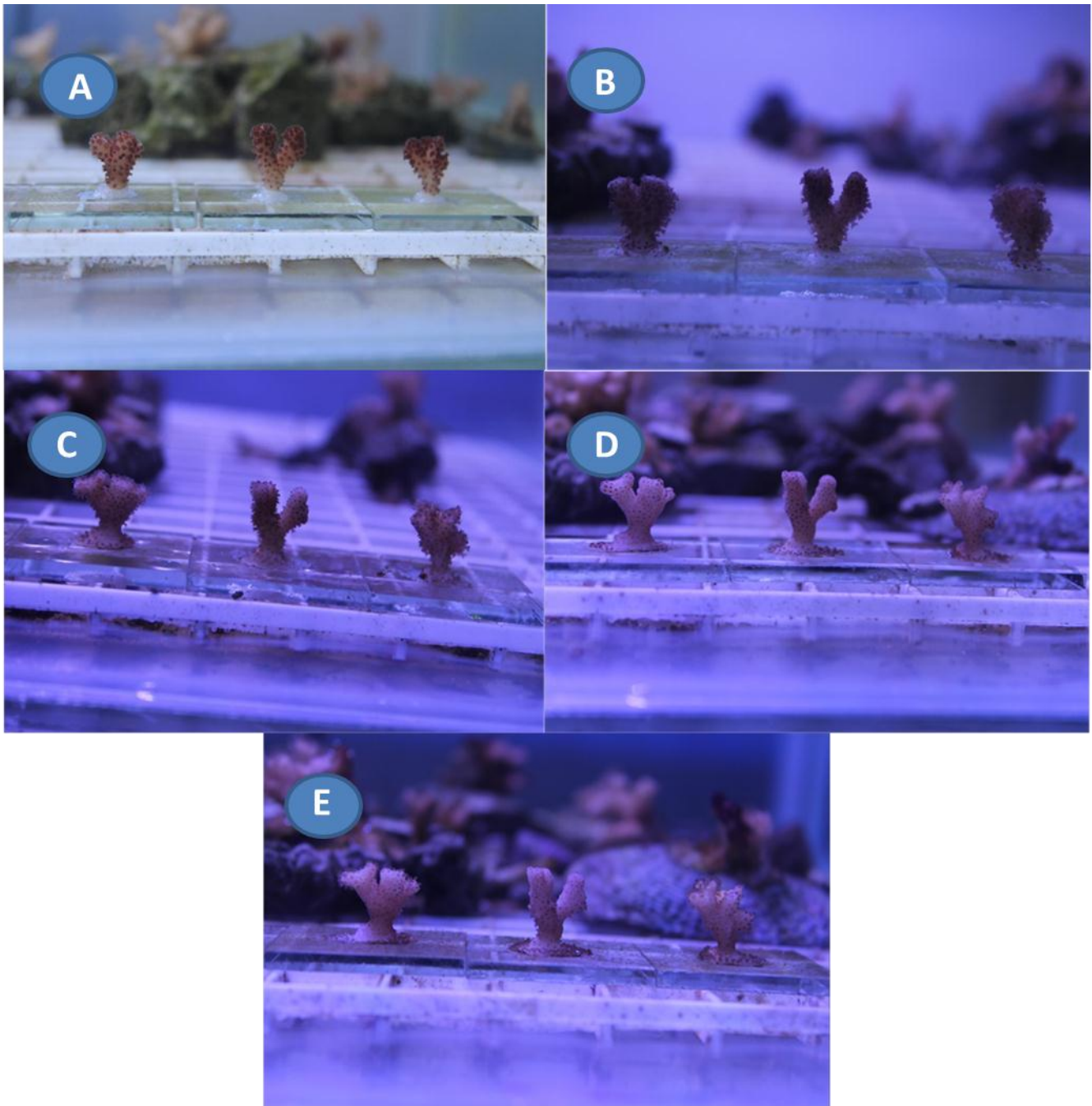


Figura 22. Ejemplares de *Pocillopora capitata* en la condición de fotoperiodo 12:12 LO en enero (A), marzo (B), mayo (C), junio (D) y septiembre (E).

Condición de fotoperiodo 13:11 LO

Se muestra el crecimiento de *Pocillopora capitata* en esta condición de fotoperiodo a lo largo de enero donde los fragmentos estaban recién fijados a su base (Fig. 24, A), a la semana de haberlos fijado se observó crecimiento en la parte basal de cada fragmento. Los fragmentos continuaron creciendo y hacia marzo la mayoría de los fragmentos ya contaban con varios pólipos basales (Fig. 24, B), la coloración se fue tornando hacia café claro. Para el mes de mayo se observa un pronunciado crecimiento basal (Fig. 24, C), y hacia mediados de mayo en adelante los fragmentos cerraron sus pólipos con mayor frecuencia (Fig. 24, D), la coloración se tornó a un tono aún más pálido. Durante junio el crecimiento se detuvo. Durante septiembre los fragmentos retomaron su crecimiento (Fig. 24, E) y crecieron más respecto a las dos condiciones anteriores (11:13 LO y 12:12 LO).

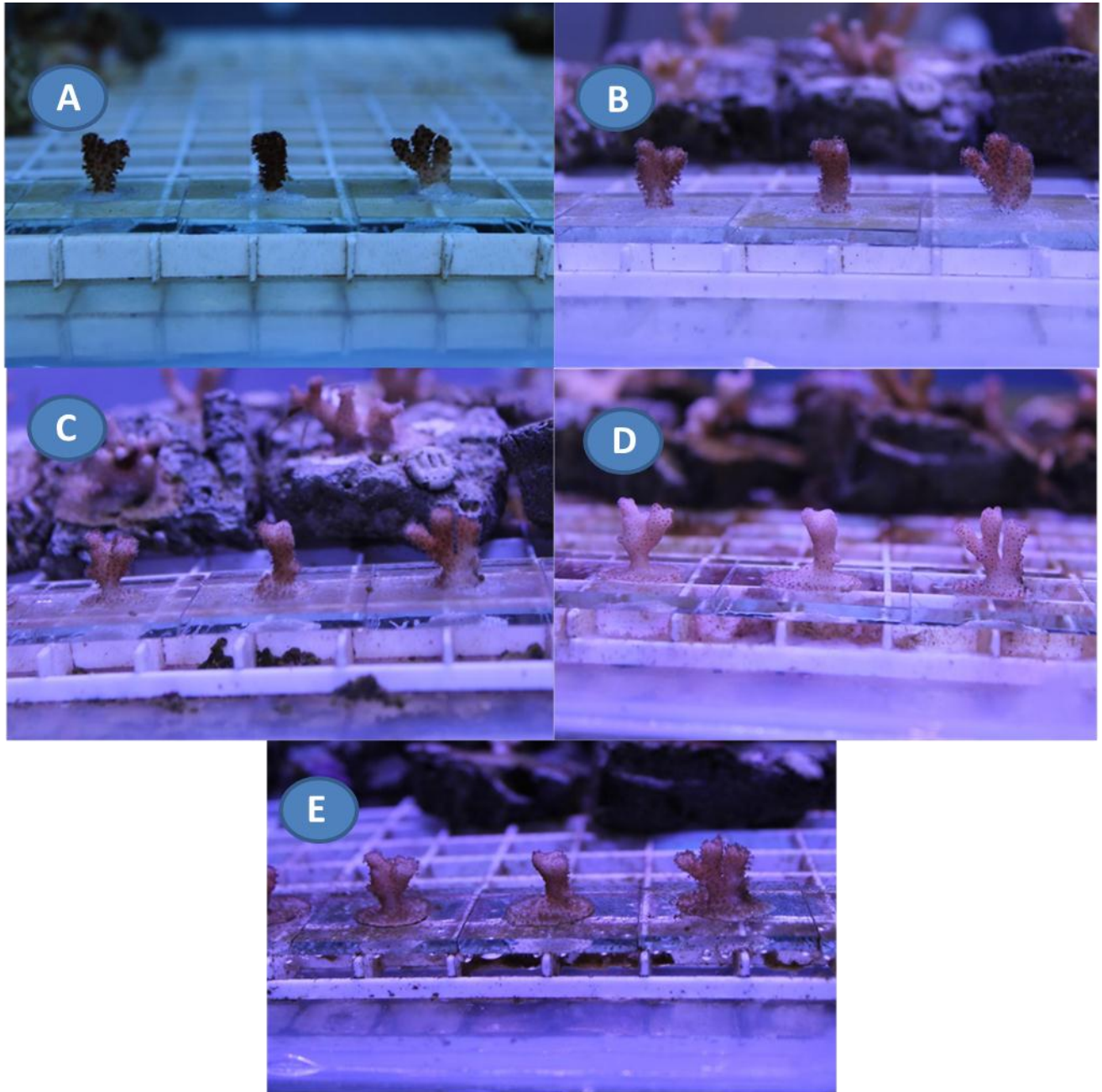


Figura 24. Ejemplares de *Pocillopora capitata* en la condición de fotoperiodo 13:11 LO en enero (A), marzo (B), mayo (C), junio (D) y septiembre (E).

Condición de fotoperiodo 16:8 LO

Se muestra el crecimiento de *Pocillopora capitata* en la condición de fotoperiodo 16:8 LO a lo largo de enero donde los fragmentos estaban recién fijados a su base (Fig.26, A), a la semana de haberlos fijado se observó crecimiento en la parte basal de cada fragmento. Los fragmentos continuaron creciendo y en marzo la mayoría de los fragmentos ya contaban con varios pólipos basales (Fig.26, B). Hacia mayo se observó un pronunciado crecimiento basal y una coloración más pálida que las condiciones anteriores (Fig.26, C) pero con mayor fluorescencia verde. En junio se continuó registrando crecimiento basal (Fig.26, D) y una coloración sumamente pálida a diferencia de todas las condiciones anteriores. Hacia septiembre los fragmentos continuaron creciendo y la pigmentación se restableció (Fig.26, E). Durante agosto y septiembre se registró crecimiento a diferencia de todas las demás condiciones experimentales.

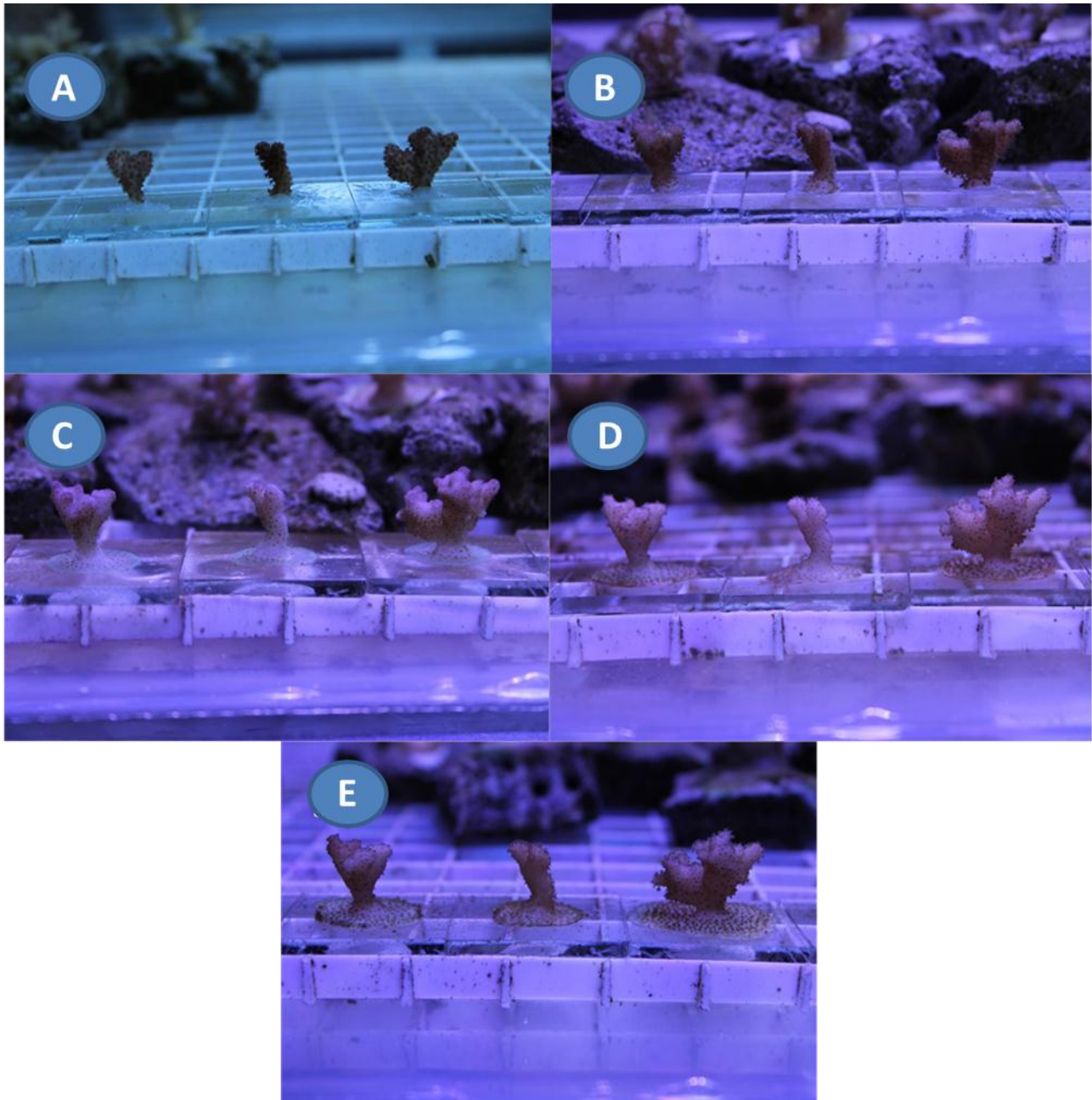


Figura 26. Ejemplares de *Pocillopora capitata* en la condición de fotoperiodo 16:8 LO en enero (A), marzo (B), mayo (C), junio (D) y septiembre (E).

Monitoreo de parámetros físico-químicos del sistema experimental

En el sistema experimental se llevó a cabo el seguimiento de los parámetros físico-químicos (Fig. 27) cuyos datos se muestran a continuación:

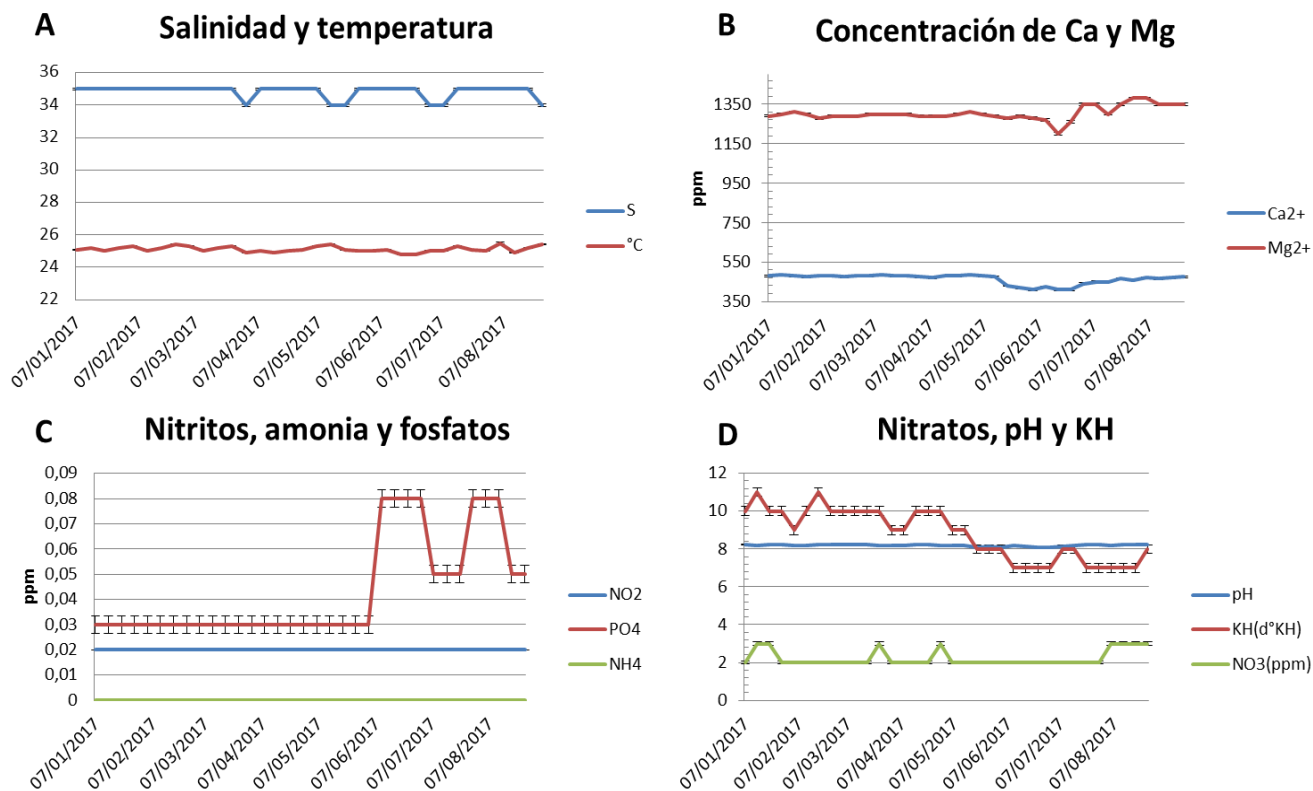


Figura 27. Parámetros físico-químicos de calidad del agua en el sistema experimental. A Salinidad y temperatura. B Concentración de calcio y magnesio iónico. C Concentración de nitritos, amonia y fosfatos. D Nitratos, pH y dureza de carbonatos (KH).

Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos de calidad del agua

Salinidad	35 ppt
pH	8.2
KH	9 d°KH
NO ₂	0.02 ppm
NO ₃	3 ppm
NH ₄	0 ppm
PO ₄	0.03 ppm
Ca ²⁺	480 ppm
Mg ²⁺	1300 ppm
Temperatura	25°C

Tabla 2. Promedio de los parámetros físico-químicos del agua.

Análisis estadístico de los parámetros físico-químicos de calidad del agua

Se aplicó un análisis MANOVA y un escalamiento multidimensional (Fig. 28) y se encontró diferencia estadísticamente significativa entre tres periodos ($p=0.001$), el primer periodo (enero a mediados de mayo) en donde los parámetros del agua se mantenían estables, un segundo periodo (mediados de mayo a mediados de julio) donde varios parámetros se desestabilizaron con alza de fosfatos (Fig. 27 C), caída de KH (dureza de carbonatos), caída de pH (Fig. 27 D), así como de Ca y Mg (Fig. 27 B) causando una diferencia significativa respecto al primer periodo. Un tercer periodo difiere significativamente donde parece producirse una re-estabilización de los parámetros.

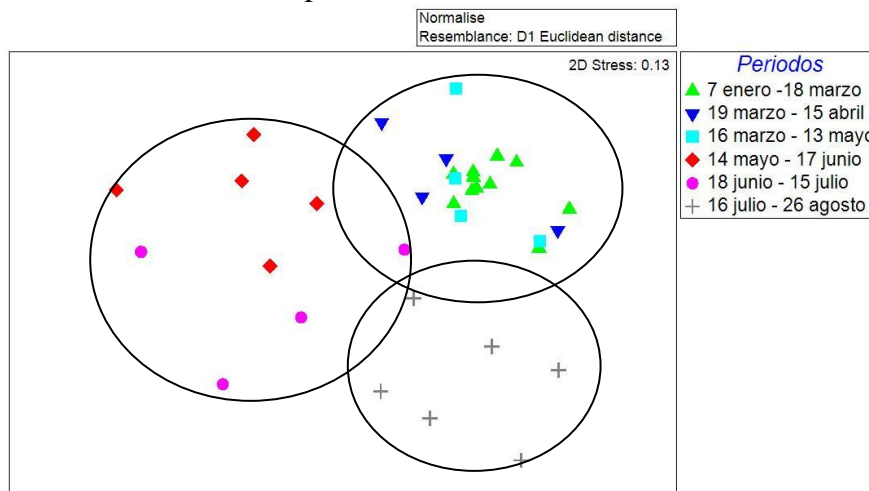


Fig. 28. Análisis MDS de los periodos de muestreo de los parámetros físico-químicos denota tres grupos. El grupo superior derecho que corresponde a un primer periodo (enero a mediados de mayo) en donde los parámetros del agua se mantenían estables, un segundo grupo a la izquierda (mediados de mayo a mediados de julio) se puede apreciar donde varios parámetros se desestabilizaron causando una diferencia significativa respecto al primer periodo. Un tercer grupo se aprecia del lado inferior derecho que difiere significativamente de los grupos anteriores.

Discusión

Trabajo en campo

De acuerdo a la prospección en la comunidad de corales en Las Gatas, *Pocillopora capitata* experimenta valores de luz fotosintéticamente activa entre 300 y 400 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ a una profundidad de 5 m a medio día en enero. Para mayor precisión se deben hacer mediciones en época de secas y en época de lluvias ya que la intensidad y el fotoperiodo cambian de manera diaria a lo largo del tiempo.

Durante la fase de trabajo preliminar, se desarrolló la fase de aclimatación de los fragmentos de Las Gatas. Esta fase consistió en el tratamiento de recuperación, limpieza y fijación de los fragmentos de *Pocillopora capitata* en acuarios de aclimatación. Se presume que hubo pérdida de simbiontes por estrés térmico y lesiones mecánicas durante la transportación de los fragmentos ya que llegaron con el agua de tono café claro, por lo que al llegar a las instalaciones en la Ciudad de México fueron tratados con un baño en solución para remover epibiontes, algunos huevos y alivianar las lesiones. Algunos fragmentos llegaron con partes expuestas del coral, estas zonas comenzaron a ser cubiertas por diatomeas en cuestión de 7 días, sin embargo no causaron mayor daño y el coral fue capaz de contrarrestar el crecimiento de estas diatomeas por completo. Estas observaciones concuerdan con el estudio de Corado-Nava *et al.* (2014) donde *Pocillopora capitata* compete *in situ* con céspedes algales y es capaz de seguir creciendo.

Al paso de la aclimatación fueron ocurriendo cambios de pigmentación. Aproximadamente a las dos semanas fue muy notorio que los corales fueron recuperando la coloración otorgada por las zooxantelas hasta llegar a ser café-marrón oscuro y con tintes verdes en algunas zonas del cenostelo, los tentáculos se tornaron de color blanco o azules, probablemente ligado a la porción azul del espectro empleado (Riddle 2003; Alieva *et al.* 2008; D'Angelo *et al.* 2008). El crecimiento de los fragmentos comenzó a ser notorio en las bases donde se fijaron y en la parte apical de cada ramificación de los fragmentos así como en las verrugas apicales. El crecimiento a partir de estas zonas fue característico por tener menor densidad esquelética, lo que concuerda con las observaciones hechas por acuaristas públicos y privados alrededor del mundo cuando aclimatan algunas especies de corales a condiciones de acuario (Carlson, 1999; Wijgerde, 2018), sin embargo todos los fragmentos tuvieron una recuperación completa y crecimiento continuo.

De esta manera queda demostrada la capacidad de *Pocillopora capitata*, entre otros corales, de ser resistente a los rigores que implica la transportación desde su colecta hasta su destino en el acuario de aclimatación que es un ambiente artificial totalmente diferente (Carlson, 1999).

Tamaño de los fragmentos clones

Posterior a la aclimatación se obtuvieron 48 fragmentos experimentales en buen estado de ≈ 1 cm, todos clones de un fragmento de *Pocillopora capitata*. En la fragmentación que se llevó a cabo se tomó en cuenta que los fragmentos tuvieran un tamaño similar, sin embargo dentro de estos clones con un área inicial ligeramente mayor o con más ramificaciones que otros, que fueron repartidos aleatoriamente en cada condición de fotoperiodo experimental y como se verá posteriormente, los fragmentos más grandes tuvieron, en general, respuestas diferentes en el crecimiento, comparados con los más pequeños.

Al finalizar la etapa preliminar del trabajo, se instaló el sistema experimental y se dio inicio al experimento, por lo que vale la pena recordar que el objetivo central del presente estudio fue determinar el efecto del fotoperiodo en el crecimiento y sobrevivencia de fragmentos de *Pocillopora capitata* en un sistema cerrado y para ello se diseñó y construyó un sistema cerrado de cuatro acuarios experimentales y cada uno de ellos con una condición de fotoperiodo diferente cuyos resultados se discuten a continuación:

El sistema modular de recirculación

El diseño experimental consistió de un sistema de recirculación de 4 módulos, cada módulo constaba de su fuente de luz aislada, sus válvulas de paso y generación de corriente, estos módulos se conectan a un reservorio amplio en su parte basal donde el agua se filtra. Todo el sistema funcionó correctamente y cubrió las expectativas y necesidades de los experimentos. El sistema empleado por Rocha *et al.* (2015) de solo 3 módulos permite flujos diferenciales ente los módulos, es más versátil pero mucho más caro y más pequeño, resultando innecesario para el desarrollo del trabajo aquí propuesto.

Parámetros del agua en el sistema experimental

El sistema experimental se mantuvo bajo los siguientes parámetros físico-químicos: luz fotosintéticamente activa $300 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, salinidad 35 ppt, pH 8.2, KH 9 d°KH, NO_2 0.02 ppm, NO_3 3 ppm, NH_4 0ppm, PO_4 0.03ppm, Ca 480 ppm, Mg 1300 ppm, temperatura 25°C. Durante el periodo enero a mayo, el monitoreo de los parámetros fisicoquímicos indicó estabilidad constante, sin embargo, a finales de mayo se registraron cambios en algunos parámetros como una baja en los valores de dureza de carbonatos, pH, y un aumento de fosfatos. A pesar de los esfuerzos rutinarios para mantener la química del agua estable, la estabilidad no resultó ser la misma desde mayo hasta septiembre.

No hay certeza científica de cuáles fueron las causas que provocaron la alteración de la química del sistema, sin embargo se especula fuertemente que las causas se ligan a la contaminación ambiental por construcciones adyacentes, el cambio de uso de suelo en locales adyacentes, aunado al exceso de dióxido de carbono generado por la quema de carbón, cigarro y alimentos en estos locales adyacentes. Existe evidencia de que el CO_2 disuelto en agua de mar reacciona formando ácido carbónico el cual baja el pH y favorece la disolución de carbonatos, así el agua se acidifica y disminuye la omega aragonita (Eyre, 2014). Se sabe también, que la nicotina es miscible en agua (NTP, 1992). A la par con los registros de disturbios anteriores, hubo registro de exceso de vibraciones generado por una construcción adyacente al laboratorio. Así, es posible sugerir que la caída de las tasas de crecimiento en área y peso, a mediados de mayo en adelante están relacionadas con las perturbaciones que rodearon al laboratorio en el segundo periodo del desarrollo del trabajo experimental; desafortunadamente éstas no fueron cuantificables, sin embargo, los cambios en los parámetros fisicoquímicos que se midieron constantemente son un hecho irrefutable.

Sistema de iluminación

La calidad de la luz varía en función del espectro empleado, varía de menor a mayor profundidad y también puede variar de acuerdo a la fuente de luz elegida (Mass *et al.* 2010; Rocha *et al.* 2013a; Wijgerde, 2018).

En este estudio las fuentes de luz se conformaron por un sistema híbrido de iluminación capaz de simular los haces de luz solar empleando LEDs (Madriz LED: 2 cool white, 2 warm white, 2 royal blue (440nm), 3 actinic (420nm), 4 full spectrum (480-780nm), 2 UV (380nm) y la luz difusa en el cielo empleando focos fluorescentes t5 (2 blancos y 2 azules), en conjunto dando una irradiancia de $300 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Esta configuración usa una porción importante de luz azul, y en este contexto Wijgerde (2018) menciona que *Stylophora pistillata* es capaz de crecer bajo luz azul con cambios en la morfología esquelética, y que estos cambios en la morfología esquelética pudieran ser explicados por la porción de luz azul que pudiera estar simulando o mandando la señal de un ambiente profundo, lo que concordaría con lo observado en corales que crecen en ambientes más profundos donde domina la luz azul y cuya densidad

esqueletal se reduce considerablemente (Lesser *et al.* 2010; Muir *et al.* 2015), tal como sucedió con *Pocillopora capitata* en el presente estudio.

El efecto del uso de lámparas LED y LEP se ha comenzado a investigar con diferentes irradiancias en *Galaxea fascicularis* observándose mayores tasas de crecimiento en corales cultivados con plasma emisor de luz (LEP) a irradiancias de $125-150\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y $275-325\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Wijgerde *et al.* 2012b), posteriormente Rocha *et al.* (2013a) realizaron un estudio donde comparan el efecto de lámparas t5, LED y LEP en la fotobiología y crecimiento de *Acropora formosa* y *Stylophora pistillata*, observaron que entre los diferentes tratamientos lumínicos el de LED resultó con un mayor efecto en el crecimiento de los corales ya que la porción azul del espectro usado en los focos azules LED promueve mayores tasas de crecimiento y aminora el costo de producción.

Wijgerde *et al.* (2014) reportan que los diodos emisores de luz son capaces de proveer una amplia gama de colores para el cultivo de coral por la combinación de espectros que se pueden usar, ellos emplean LED's azules y rojos por separado y en conjunto, sus resultados muestran que la luz roja por sí sola tiene un efecto negativo en el desarrollo coralino de *Stylophora pistillata*, mientras que la luz azul tiene un efecto positivo usando fotoperiodos 12:12 LO a intensidades de 128 y $256\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Condición de fotoperiodo 11:13 LO

Esta condición de fotoperiodo ocurre de manera natural en Zihuatanejo en temporada de secas que abarca los meses de diciembre y enero. La eficiencia en el crecimiento en área y peso fue la mejor durante el periodo experimental de enero a mayo, ocupando el primer lugar entre las cuatro condiciones experimentales (Fig. 31, 11:13 LO), inversamente en el periodo de mayo a septiembre la eficiencia fue la peor, que es el periodo donde las tasas de crecimiento en área tuvieron una baja del 85.94% al igual que las tasas de peso con una baja del 68.43%. Medellín-Maldonado *et al.* (2016) reportan para La Entrega, Huatulco, datos de crecimiento de *Pocillopora capitata* con una tasa de extensión esqueletal de $2.92 \pm 0.23\text{ cm año}^{-1}$ que comparada con los resultados del presente estudio en la misma escala temporal, con un crecimiento promedio en área entre 0.71 cm año^{-1} y 1.41 cm año^{-1} se observa que el rendimiento experimental alcanza entre el 24 y el 48 % de lo obtenido en campo.

Condición de fotoperiodo 12:12 LO

Esta condición de fotoperiodo ocurre naturalmente en Zihuatanejo durante temporada de secas abarcando los meses de marzo y abril y también ocurre durante temporada de lluvias abarcando los meses de septiembre y octubre. Se registró la menor eficiencia del crecimiento respecto a las demás condiciones experimentales tanto en área y en peso durante todo el experimento, reflejándose en poco crecimiento basal de cada fragmento (Fig. 31, 12:12 LO). Durante el periodo de mayo a septiembre se registró una baja en las tasas de crecimiento en área de 77.15% al igual que las tasas de peso con una baja de 65.63%.

Condición de fotoperiodo 13:11 LO

Esta condición de fotoperiodo ocurre naturalmente en Zihuatanejo a lo largo de la temporada de lluvias abarcando los meses de junio y agosto. Durante el periodo de enero a mayo las eficiencias del crecimiento en área y peso ocuparon el tercer lugar entre los cuatro tratamientos experimentales y se reflejó en su mayoría en el crecimiento basal de cada fragmento (Fig. 31, 13:11 LO). Posteriormente durante el periodo de mayo a septiembre se registró una baja en las tasas de crecimiento en área de 35.56% al igual que las tasas de peso con una baja de 63.64%, sin embargo hubo crecimiento significativamente mayor que en 11:13 LO y 12:12 LO, condiciones donde el crecimiento se estancó en este periodo.

Condición de fotoperiodo 16:8 LO

Esta condición de fotoperiodo no ocurre en Zihuatanejo sino hasta latitudes aproximadas o por arriba de los 50°. Durante el periodo de enero a mayo la eficiencia en el crecimiento fue similar a la primera condición (11:13 LO) ocupando el segundo lugar entre las cuatro condiciones experimentales y se puede ver reflejado en el crecimiento basal (Fig. 31, 16:8 LO). Durante el periodo de mayo a septiembre se registró una baja en las tasas de crecimiento en área de 19.57%, contrariamente se registró una alza en las tasas de aumento en peso del 60%. Los fragmentos en esta condición tuvieron una coloración más pálida de lo habitual, que probablemente se deba a un ajuste en los pigmentos fotoprotectores y/o el número de simbioses ya que Lesser y Shick (1989) mencionan que cuando se cambian corales expuestos a bajas intensidades de luz hacia altas intensidades ocurre una disminución en la coloración café, ya que los simbioses en el coral regulan su pigmentación para prevenir daños por estrés oxidativo, algunas zonas basales en los fragmentos mostraban una coloración verde fluorescente mientras que en los ápices de las ramificaciones la coloración era rosa-morada, lo que concuerda con Takabayashi y Hoegh-Guldberg (1995) y D'Angelo *et al.* (2008) donde la exposición de *Acropora nobilis* a una mayor intensidad lumínica resultó en una coloración verde fluorescente y una notoria pigmentación rosa en *Pocillopora damicornis*, también Riddle (2003) observa cambios en la coloración de *Pocillopora meandrina* cuando esta se mantiene bajo diferentes colores de luz, particularmente con luz azul obtiene pigmentaciones rosas. Esta coloración puede explicarse por las cromoproteínas stylCP574 and spisCP560 ya que son capaces de absorber el verde y amarillo y reflejar la luz azul y roja, que resulta en tonos rosas a morados (Alieva *et al.* 2008).

Crecimiento diferencial en área

A pesar de que todos los fragmentos eran clones, se observó variabilidad en el crecimiento dentro de cada condición experimental. En todas las condiciones experimentales se incluyeron fragmentos con pequeñas diferencias en la talla y la respuesta del crecimiento fue diferente, los fragmentos grandes destacaron por sus mayores tasas de crecimiento en cada condición de fotoperiodo. Esta respuesta diferencial concuerda con el estudio realizado por Forsman *et al.* (2006), quienes mencionan que en un principio un coral o fragmento que contenga mayor número de pólipos tiene ventaja sobre uno que contenga un número menor, pues más pólipos implica un crecimiento tridimensional y hemisférico que permite al coral alimentarse y calcificar más rápido. La sobrevivencia de fragmentos de diferentes tamaños se ha estudiado y se ha observado que la tasa de crecimiento de corales hermatípicos se reduce o aumenta dependiendo del tamaño de la colonia o fragmento (Raymundo y Maypa 2004; Box y Mumby 2007).

Comportamiento del peso

La variación del peso entre las condiciones experimentales fue muy similar en el primer periodo, la diferencia fue poca en la escala de tiempo de registro, probablemente con un seguimiento más amplio de estos datos podrá resultar alguna diferencia estadísticamente significativa. Sólo la condición 16:8 LO tuvo diferencias estadísticamente significativas con cada condición de fotoperiodo en el segundo periodo.

Esta variable de peso puede ser complementada con la tasa de calcificación mediante la determinación de la densidad esquelética, lo cual resultaría en otra forma más conveniente y complementaria para evaluar el crecimiento de los corales. Incluir la densidad esquelética permitiría posteriormente, conocer la tasa de calcificación que es otro parámetro importante de crecimiento.

Proporción de fotoperiodos por periodo

Dados los resultados se observó una tendencia diferente entre los dos periodos de estudio como se muestra a continuación:

Enero-mayo

De acuerdo a los resultados en este periodo se propone la siguiente proporción de fotoperiodos con resultados que van de mayor a menor crecimiento:

11:13 LO > 16:8 LO > 13:11 LO > 12:12 LO.

Mayo-septiembre

De acuerdo a los resultados en este periodo se propone la siguiente proporción de fotoperiodos con resultados que van de mayor a menor crecimiento:

16:8 LO > 13:11 LO > 12:12 LO > 11:13 LO.

La condición de fotoperiodo 16:8 LO destaca por sus mejores resultados en peso. El uso de un fotoperiodo de 16 horas de luz a una dosis entre $17.28 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y $16.70 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ dio como resultado mayor aumento en peso y una coloración más atractiva con tonos verdes y rosas y cafés incluso tonos arcoíris, brindando a los corales las características que demanda el mercado acuarístico.

Tasas de crecimiento en área vs tasas de aumento en peso

Al comparar las tendencias tanto de las tasas de crecimiento en área como las tasas de aumento en peso, se observó que hay un comportamiento semejante, esto implica que tanto las tasas de área como de peso son válidos indicadores de crecimiento al menos para fragmentos juveniles de *Pocillopora capitata*.

Eficiencia del crecimiento

Como quedó mostrado en párrafos anteriores, el experimento tuvo en general, resultados positivos dado que no hubo mortalidad de fragmentos y que todos los fragmentos tuvieron respuesta positiva de crecimiento total. Calcular las tasas para las diferentes condiciones experimentales en los dos periodos (ene-may y may-sep), permitió obtener una visión más precisa de las respuestas diferenciales entre los fragmentos y entre las condiciones experimentales, a pesar de que no en todos los casos hubo significancias.

Es importante resaltar que la eficiencia del crecimiento fue notablemente diferente entre los dos periodos, tanto en área como en peso y anteriormente se hizo notar cómo la estabilidad fisicoquímica del sistema de cultivo se vio afectada fuertemente de mayo a septiembre, quizá por los eventos de contaminación ambiental mencionados, que posiblemente se correlacionen con el registro de las caídas de las tasas de crecimiento en la mayor parte de los tratamientos experimentales.

Sin embargo, no se puede descartar que la caída de las tasas esté relacionada con la propia biología reproductiva de *Pocillopora*. Aunque se desconoce a ciencia cierta el ciclo de la especie, se puede usar como referencia el ciclo reproductivo de *Pocillopora damicornis* de Bahía de Banderas, Nayarit, que inicia en abril y termina en septiembre con su pico de actividad en julio donde la temperatura superficial es mayor (Carpizo-Ituarte *et al.* 2011). De esta forma, suponiendo que *P. capitata* tiene un régimen estacional semejante, se puede inferir que durante el verano (junio-septiembre), periodo en donde se registraron las caídas de las tasas de crecimiento, la mayor inversión energética está destinada a la reproducción, particularmente en la gametogénesis y por lo tanto se detiene el crecimiento.

Datos controversiales a lo anterior, indican que hay un efecto negativo de la fragmentación experimental sobre la capacidad reproductiva de *Pocillopora damicornis* (Zakai *et al.* 2000) y dan cuenta de que la planulación se ve mermada por la fragmentación, por lo que la gametogénesis también podría estar siendo detenida ante eventos de fragmentación.

También se debe tomar en cuenta que en los pocilopóridos la madurez sexual se alcanza a partir de 3 años en adelante (Richmond y Hunter, 1990) aunque hay variaciones dependiendo de la localidad y la especie. Los fragmentos de *Pocillopora capitata* utilizados en el experimento de crecimiento deben asumirse como crecimiento nuevo a partir de fragmentación inicial, por lo que resulta poco probable que en cuatro meses estuvieran en condiciones aptas para reproducirse sexualmente y aunque no se buscó específicamente, no se encontraron rastros de larvas ni de recolonización en ninguno de los acuarios, mismos que eran revisados y limpiados semanalmente.

Debido a lo anteriormente mencionado y debido a que ocurrió mortalidad parcial en algunos fragmentos, la baja en las tasas de crecimiento se atribuye a la desestabilización en los parámetros del sistema de cultivo (quizá producto de la contaminación ambiental) más que al ciclo reproductivo.

Encontrar una forma confiable de cuantificar el crecimiento en los fragmentos de coral resultó uno de los mayores desafíos del experimento pues ningún método sencillo parecía totalmente confiable, ya que medir el área solamente, sesga la cuantificación del crecimiento al eliminar la tridimensionalidad de los corales. El hecho de que *Pocillopora capitata* tenga un crecimiento tridimensional y hemisférico al ser medido con una sola imagen limita el alcance y la precisión del método, sin embargo dicha imagen es un reflejo de lo que ocurre en general en todo el coral por lo que es información útil sobre todo si los fragmentos no tienen ramificaciones.

Obtener las imágenes fotográficas secuenciales durante el periodo experimental, ocho meses en total, de cada uno de los fragmentos, en la misma posición y a igual distancia, permitió su análisis con el programa SIGMA SCAN PRO 5[®], y así cuantificar el aumento de área a lo largo del periodo y hacer comparaciones muy precisas entre fragmentos y entre condiciones experimentales, así como calcular la tasa de crecimiento a diferentes periodos. La otra variable utilizada fue el peso que se tomó al iniciar el experimento y a la conclusión del mismo. Tomar en cuenta el peso de los fragmentos es importante ya que el aumento de peso indica que hay calcificación. Aunque solo se obtuvieron dos medidas fue posible cuantificar el incremento de manera precisa y calcular las tasas a diversos periodos también, dando una perspectiva más amplia del comportamiento de los fragmentos en cada condición experimental.

Resultó notorio que todos los fragmentos crecieron basalmente, extendiendo un disco basal de tejido vivo que mostró diferencias notables en el desarrollo del mismo entre fragmentos de una misma condición experimental y entre condiciones experimentales (Fig. 29).

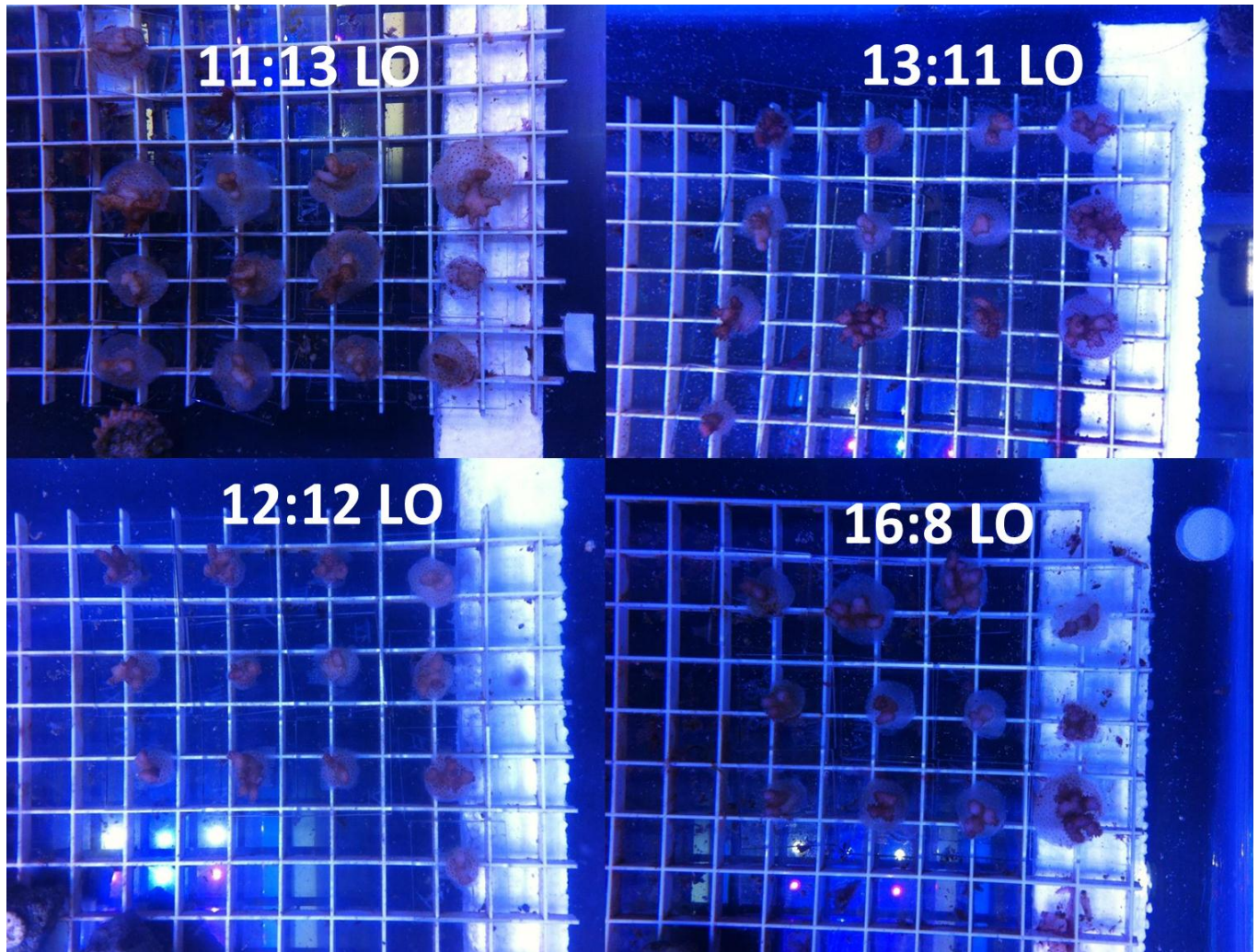


Figura 29. Fragmentos de *Pocillopora capitata* en las cuatro condiciones experimentales vistos desde arriba. Fotografías tomadas en mayo 2017.

Finalmente, al levantar los fragmentos, resultó evidente que algunos mostraron diferencias en su respuesta competitiva con las algas, sugiriendo que al caer las tasas de crecimiento las algas comenzaron a competir con los corales desarrollándose en el perímetro del crecimiento basal de los fragmentos. Se observó que en la mayoría de los casos el coral contrarrestó al alga pues se aprecia un aro pigmentado que fue rebasado por el crecimiento coralino (Fig. 30). En una menor proporción de los fragmentos, el límite de crecimiento se vio favorecido por el aro algal que nunca fue sobrepasado, esto generó que los fragmentos crecieran diferencialmente en área ya que una parte de su perímetro basal quedó obstruido (Fig. 30).

Sólo en las condiciones 13:11 y 16:8 LO los fragmentos sobrepasaron ese perímetro algal cuando retomaron su crecimiento al disminuir la frecuencia e intensidad de la contaminación, lo que otra vez indica concordancia con el estudio de Corado-Nava *et al.* (2014) donde los fragmentos de *Pocillopora capitata* son capaces de competir y contrarrestar el crecimiento de algas.

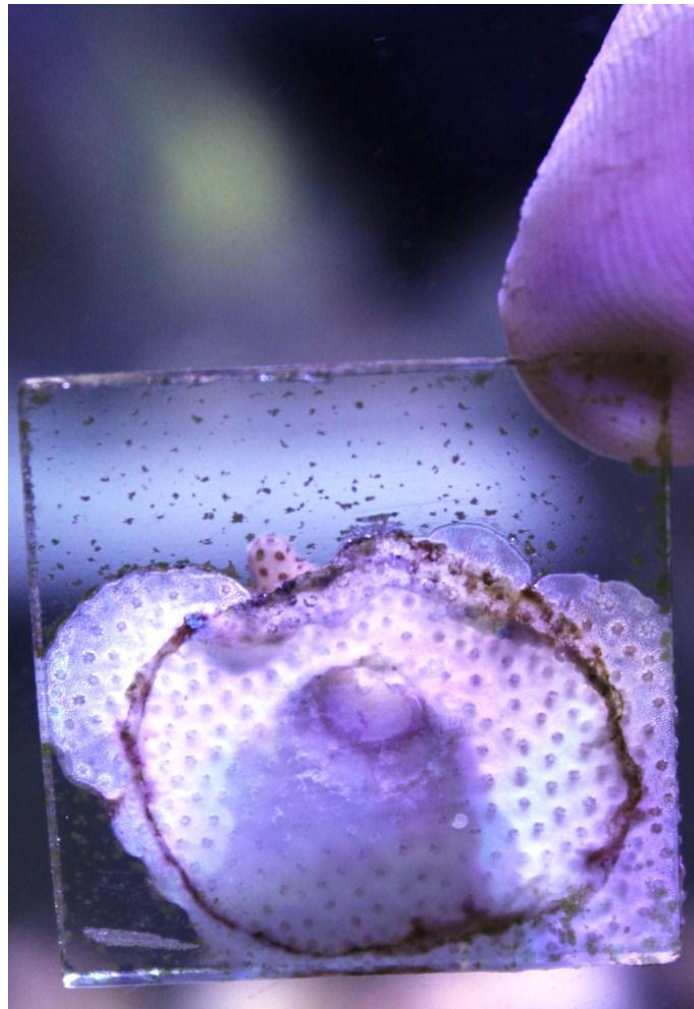


Fig. 30 Fragmento no. 1 de *Pocillopora capitata* de la condición 16:8 LO, vista ventral, se observa el perímetro donde el crecimiento se estancó y hubo competencia con algas, posteriormente hay crecimiento.

Conclusiones

Se aclimató exitosamente a *Pocillopora capitata* de Playa Las Gatas, Zihuatanejo a un sistema cerrado para cultivo *ex situ*, este coral pétreo es capaz de aclimatarse a fuentes híbridas de iluminación (LED y T5) y crecer bajo diferentes regímenes de luz desde 11 hasta 16 horas a $300 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ con 100% de sobrevivencia. Este coral es capaz de competir con el crecimiento algal cuando se encuentra en condiciones adecuadas de cultivo y los fragmentos rescatados funcionan como banco generador de fragmentos para futuros intereses experimentales, de cultivo y de conservación de la especie.

En el primer periodo la condición 11:13 LO destaca entre todas por su desempeño en crecimiento en área. En el segundo periodo la condición 16:8 LO destaca entre todas por su desempeño en aumento en peso. En los resultados de este estudio las variaciones en el fotoperiodo no tuvieron un efecto significativo sobre el crecimiento, solamente en el aumento en peso y en la coloración de los fragmentos en la condición 16:8 LO.

El tamaño de los fragmentos determina en gran medida la tasa de crecimiento a pesar de que sean clones y el área medida como extensión esquelética tanto el peso son validados como parámetros de crecimiento para fragmentos juveniles ya que reflejan el comportamiento del crecimiento en cada condición lumínica de este experimento. En este sistema modular de recirculación, fragmentos de *Pocillopora capitata* de aproximadamente 1cm^2 pueden alcanzar tallas comerciales en un lapso de aproximadamente un año.

Para efectos en el mercado acuarístico de especies de ornato, el uso de un sistema híbrido de iluminación como el empleado en este estudio programado a un fotoperiodo 16:8 LO a $300 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ es una opción para producir y resaltar la coloración verde y/o rosada que se vuelve una cualidad para su exitoso comercio y de esta manera se contribuye a reducir la colecta en arrecifes y comunidades de coral.

Para efectos en investigación, el sistema experimental empleado resulta dinámico y funcional ya que ofrece diferentes posibilidades y configuraciones para evaluar diferentes parámetros biológicos, físicos y químicos que tienen efecto en la fisiología y/o cultivo de corales escleractinios hermatípicos como *Pocillopora capitata*.

Perspectivas

Mencionamos cuatro elementos que permitirán un seguimiento más profundo y preciso del crecimiento del coral:

1. Refinar los métodos para aprovechar mejor la variable de peso incluyendo más mediciones, no solo la inicial, la intermedia y la final, para tener una visión más clara del comportamiento.
2. Calcular la densidad esquelética a lo largo de los experimentos y con estos datos calcular la tasa de calcificación.
3. Variación de luz usando diferentes espectros y fuentes para disminuir el efecto sobre la reducción de la densidad esquelética, observada con las fuentes de luz empleadas así como la desaparición de las verrugas características de *Pocillopora capitata*.
4. Incluir como complemento del crecimiento, el área de crecimiento basal que mostró ser una variable observable y fácilmente cuantificable.

Referencias bibliográficas

- Alieva NO, Konzen KA, Field SF, Meleshkevitch EA, Hunt ME, Beltran-Ramirez V, *et al.*, 2008. *Diversity and Evolution of Coral Fluorescent Proteins*. PLoS ONE 3(7): e2680.
- Ayre DJ, Hughes TP, Standish RJ, 1997. *Genetic differentiation, reproductive mode, and gene flow in the brooding coral Pocillopora damicornis along the Great Barrier Reef, Australia*. *Marine Ecology Progress Series*. 159: 175–187.
- Baqueiro ER, 1998. Patrones en la dinámica poblacional y ciclo reproductor de moluscos bivalvos y gasterópodos de importancia comercial en México. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Instituto Politécnico Nacional, 295 p.
- Box S y Mumby P, 2007. *Effect of macroalgal competition on growth and survival of juvenile Caribbean corals*. *Marine Ecology Progress Series* 342:139-149.
- Burke L y Maidens J, 2005. Arrecifes en Peligro en el Caribe. *Washington, D.C. World Resource Institute*.
- Burke L, Reytar K, Spalding M y Perry A, 2011. *Reefs at Risk Revisited in the Coral Triangle*. *Washington, D.C. World Resource Institute*.
- Carlson B, 1999. *Organism Responses to Rapid Change: What Aquaria Tell Us About Nature*. *American Zoology* 39: 44-55.
- Carriquiry JD, Cupul-Magaña AL, Rodríguez-Zaragoza F y Medina-Rosas P, 2001. *Coral Bleaching and Mortality in the Mexican Pacific During the 1997-98 El Niño and Prediction From a Remote Sensing Approach*. *Bulletin of Marine Science*. 69(1): 237–249.
- Carriquiry JD y Reyes-Bonilla H, 1997. Estructura de la comunidad y distribución geográfica de los arrecifes coralinos de Nayarit. *Ciencias Marinas* 23: 227–248.
- Carpizo-Ituarte E, Vizcaíno-Ochoa V, Chi-Barragán G, Tapia-Vázquez O, Cupul-Magaña AL, Medina-Rosas P, 2011. *Evidence of sexual reproduction in the hermatypic corals Pocillopora damicornis, Porites panamensis, and Pavona gigantea in Banderas Bay, Mexican Pacific*. *Ciencias Marinas*. 37(1): 97–112.
- Corado-Nava NA, Rodríguez D y Rivas G, 2014. Efecto de la colonización de los céspedes algales en el crecimiento de Pocillopora capitata (Anthozoa: Scleractinia) en el Pacífico tropical mexicano. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 1086-1092. DOI: 10.7550/rmb.43323.
- Consejo de promoción turística de México, 2017. Ixtapa Zihuatanejo se consolida como uno de los destinos turísticos más importantes del país. Revisado: 01/05/18 disponible en: <https://www.gob.mx/cptm/prensa/ixtapa-zihuatanejo-se-consolida-como-uno-de-los-destinos-turisticos-mas-visitados-del-pais>
- D'Angelo C, Denzel A, Vogt A, Matz M, Oswald F, Salih A *et al.*, 2008. *Blue light regulation of host pigment in reef-building corals*. *Marine Ecology Progress Series* 364: 97–106.

- Delbeek JC, 2001. *Coral farming: past, present and future trends. Aquarium Sciences and Conservation* 3(1-3): 171-81.
- Delbeek JC y Sprung J, 1994. *The Reef Aquarium. Ricordea Publishing. Florida, USA.*
- Delbeek JC y Sprung J, 2005. *The Reef Aquarium Volume Three; Science, Art, and Technology. Ricordea Publishing. Florida, USA.*
- Dennison WC y Barnes DJ, 1988. *Effect of water motion on coral photosynthesis and calcification. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology.* 115: 67-77.
- Edwards A y Gomez E, 2007. *Reef Restoration. Concepts & Guidelines. St. Lucia, Australia: Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management Programme, iv+ p. 38.*
- Epstein N, Bak RPM, Rinkevich B, 2001. *Strategies for gardening denuded coral reef areas: The applicability of using different types of coral material for reef restoration. Restoration Ecology* 9:432-42.
- Eyre BD, Andersson AJ y Cyronak T, 2014. *Benthic coral reef calcium carbonate dissolution in an acidifying ocean. Nature Climate Change* 4: 969-976.
- Forsman Z, Johnston E, Brooks A, Thomas A, y Toonen R, 2013. *Genetic Evidence for Regional Isolation of Pocillopora Corals from Moorea. Oceanography*, 23(3), p. 153-155.
- Forsman Z, Rinkevich B, Hunter C, 2006. *Investigating fragment size for culturing reef-building corals (Porites lobata and P. compressa) in ex situ nurseries. Aquaculture* 261: 89-97.
- García-Ibáñez S, Flores-Rodríguez P, Nieto-Navarro JT, Flores-Garza R, y Bernabé-Moreno IE, 2014. *Respuesta del carnívoro Plicopurpura pansa (Mollusca: Gastropoda) y el herbívoro Chiton articulatus (Mollusca: Polyplacophora) a factores ambientales en Acapulco, México. Ciencia UAT* 8: 11-21.
- Girón A, 2014. *Efecto del fotoperiodo sobre la pulsación rítmica de Xenia elongata. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.*
- Glynn PW y Ault JS, 2000. *A biogeographic analysis and review of the far eastern Pacific coral reef region. Coral Reefs* 19: 1-23.
- Glynn PW, Cortés J, Guzmán HM y Richmond RH. 1988. *El Niño (1982-83) associated coral mortality and relationship to sea surface temperature deviations in the tropical eastern Pacific. Proceedings of the 6th International Coral Reef Symposium, Townsville.* 3: 237-243.
- Glynn PW y Leyte-Morales GE, 1997. *Coral reefs of Huatulco, west Mexico: Reef development in upwelling Gulf of Tehuantepec. Rev. Biol. Trop.* 45: 1033-1047.
- Glynn PW, Manzello DP, Enochs IC, 2017. *Coral Reefs from the Eastern Tropical Pacific. Persistence and Loss in a Dynamic Environment. Springer, Netherlands.*

- Green EP y Shirley F, 1999. *The Global Trade in Coral*. World Conservation Monitoring Centre. World Conservation Press, Cambridge, UK. p. 70.
- Gutiérrez RM y Cabrera E, 2012. La pesca ribereña de Guerrero. Instituto Nacional de Pesca, 88 p.
- Guzmán HM y Cortés J, 1992. *Cocos Island (Pacific of Costa Rica) coral reefs after the 1982-83 El Niño disturbance*. *Revista de Biología Tropical*. 40: 309–324.
- Hennige SJ, Sugget DJ, Warner ME, McDougall K, Smith DJ, 2008. *Unravelling coral photoacclimation: Symbiodinium strategy and host modification*. *Proceedings of the 11th International Coral Reef Symposium, Florida*. Session no.5.
- Hoegh-Guldberg O y Smith GJ, 1989. *The effect of sudden changes in temperature, light and salinity on the population density and export of zooxanthellae from the reef corals Stylophora pistillata Esper and Seriatopora hystrix Dana*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 129: 279–303.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México en cifras. Guerrero. Revisado: 11/09/18 Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=12>
- Jeng MS, Huang HD, Dai CF, Hsiao YC y Benayahu Y, 2011. *Sclerite calcification and reef-building in the fleshy octocoral genus Sinularia (Octocorallia: Alcyonacea)*. *Coral Reefs*. Vol. 30, Issue 4 p. 925-933. DOI: 10.1007/s00338-011-0765-z
- LaJeunesse TC, Smith R, Walther M, Pinzón J, Pettay DT, McGinley M, Aschaffenburg M, Medina-Rosas P, Cupul-Magaña AL, López-Pérez A, Reyes-Bonilla H, Warner ME. *Host-symbiont recombination versus natural selection in the response of coral-dinoflagellate symbioses to environmental disturbance*. *Proceedings. Biological sciences* vol. 277, 1696 pp. 2925-34.
- Leal CM, Ferrier-Pagés C, Petersen D y Osinga R. 2014. *Coral aquaculture: applying scientific knowledge to ex situ production*. *Reviews in Aquaculture* 6, 1–18.
- Leal MC, Nunes C, Kempf SC, Reis A, Silva TL, Serodio J *et al.* 2013b. *Effect of light, temperature and diet on the fatty acid profile of the tropical sea anemone Aiptasia pallida*. *Aquaculture Nutrition* 19: 818–826.
- Lesser MP, Slattery M, Stat M, Ojimi M, Gates RD, Grottoli A, 2010. *Photoacclimatization by the coral Montastraea cavernosa in the mesophotic zone: light, food, and genetics*. *Ecology* 91(4):990-1003.
- Lesser M y Shick J, 1989. *Effects of irradiance and ultraviolet-radiation on photoadaptation in the zooxanthellae of Aiptasia pallida – primary production, photoinhibition, and enzymic defenses against oxygen-toxicity*. *Marine Biology* 102: 243–255.
- Lizcano-Sandoval LD, Londoño-Cruz E y Zapata FA, 2018. *Growth and survival of Pocillopora damicornis (Scleractinia: Pocilloporidae) coral fragments and their potential for coral reef restoration in the Tropical Eastern Pacific*. *Marine Biology Research*. <https://doi.org/10.1080/17451000.2018.1528011>
- López-Gómez NA, 1993. Caracterización de la ficoflora sublitoral de Acapulco y Zihuatanejo, Gro. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 89 p.

- López-Gómez, NA, 2001. Variabilidad fenotípica e implicaciones taxonómicas en especies de algas submareales de Playa La Ropa, Zihuatanejo, Gro. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, 169 p.
- López N, Candelaria C, Ramírez-García P y Rodríguez D, 2017. *Structure and temporal dynamic of tropical turf-forming macroalgal assemblages of the western coast of Mexico. Latin American Journal of Aquatic Research*, 45(2): 329-340.
- López-Pérez, RA, Bastida-Zavala R, García-Madrigal MS, Barrientos-Luján NA, Torres-Huerta AM, Montoya-Márquez A, Benítez-Villalobos F y Meraz-Hernando JF, 2012. ¿Cuánto sabemos de la diversidad de la fauna marina y costera de Oaxaca? En: Recursos acuáticos costeros del sureste. Vol. I., Sánchez I A J, Chiappa-Carrara X y Brito Pérez R (eds.). Conciytesy, Fomix, Siidetey, Unacar, Conacyt, UNAM, UJAT, Ecosur, Promep, Recorecos, Mérida. p. 435-450.
- López-Pérez RA., Mora-Pérez MG y Leyte-Morales GE, 2007. *Coral (Anthozoa: Scleractinia) recruitment at Bahías de Huatulco, Western Mexico: implications for coral community structure and dynamics. Pacific Science* 61: 355–369.
- Manzello DP, 2010. *Coral growth with thermal stress and ocean acidification: Lessons from the eastern tropical Pacific. Coral Reefs* 29 pp. 749–758.
- Marubini F, Barnett H, Langdon C, y Atkinson MJ, 2001. *Dependence of calcification on light and carbonate ion concentration for the hermatypic coral Porites compressa. Marine Ecology Progress Series* 220, 153–162.
- Mass T, Kline DI, Roopin M, Veal CJ, Cohen S, Iluz D *et al.* 2010. *The spectral quality of light is a key driver of photosynthesis and photoadaptation in Stylophora pistillata colonies from different depths in the Red Sea. Journal of Experimental Biology* 213: 4084–4091.
- Medellín-Maldonado F, Cabral-Tena RA, López-Pérez AR, Calderón-Aguilera LE, Norzagaray-López CO, Chapa-Balcorta C, Zepeta-Vilchis RC, 2016. *Calcification of the main reef-building coral species on the Pacific coast of southern Mexico. Ciencias Marinas*. 42(3) pp. 209–225.
- Morales R, Vélez H, Mejía A, Ramírez I, Izurieta J y Saldaña P, 2008. Hidrodinámica de la Bahía de Zihuatanejo, México. XXIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, 2–6 September 2008, Cartagena de Indias, Colombia.
- Muir P, Wallace C, Bridge TCL, Bongaerts P, 2015. *Diverse Staghorn Coral Fauna on the Mesophotic Reefs of North-East Australia. PLoS ONE* 10(2): e0117933.
- Muscatine L, 1990. *The role of symbiotic algae in carbon and energy flux in reef corals*. En: Dubinsky Z (ed), *Ecosystems of the World*, vol.25. *Coral Reefs*. Elsevier, Amsterdam, pp. 75–87.
- Muscatine L. y Cernichiari E, 1969. *Assimilation of photosynthetic products of zooxanthellae by a reef coral. Biological Bulletin. Marine Biological Laboratory, Woods Hole* 137, 506–523.
- Muscatine L, McCloskey L, Marian R, 1981. *Estimating the daily contribution of carbon from zooxanthellae to coral animal respiration. Limnology and Oceanography* 26: 601–611.

- Myers RF, 1989. *Micronesian Reef Fishes. Coral Graphics*. Guam, USA, pp. 301.
- Nava H y Ramírez-Herrera MT, 2011. Government conservation policies on Mexican coastal areas: is “top-down” management working? *Revista de Biología Tropical (International Journal of Tropical Biology)* 59 (4): 1487-1501.
- NOAA Coral Reef Watch. 2013. *NOAA Coral Reef Watch Daily Global 5-km Satellite Virtual Station Time Series Data for Southeast Florida*. Revisado: 2015-02-05 disponible en: <http://coralreefwatch.noaa.gov/vs/index.php>
- NTP National Toxicology Program, 1992. *Institute of Environmental Health Sciences, National Institutes of Health. National Toxicology Program Chemical Repository Database. Research Triangle Park, North Carolina: NTP*.
- Ocean Acidification, 2014. *Ocean Acidification:What We Know*. Revisado: 20/09/16 Disponible en: <http://ocean-acidification.net/2014/04/20/ocean-acidification-what-we-know-now/>
- Okubo N, 2004. *Restoration technology by using asexual reproduction*. En: Omori M, Fujiwara S, (eds). *Manual for restoration and remediation of coral reefs. Japan: Nature Conservation Bureau, Ministry of the Environment*, p. 34-40.
- Okubo N, Motokawa S, Omori M, 2007. *When fragmented coral spawn? Effect of size and timing of coral fragmentation in Acropora formosa on survivorship and fecundity*. *Marine Biology*. 151:353-63. - Omori M, 2011. *Degradation and restoration of coral reefs: Experience in Okinawa, Japan*. *Marine Biology Research*, 7:1, 3-12.
- Oseguera-Cruz JM y Rodríguez DC, 2003. Descripción morfológica a nivel de microscopía de barrido de especies del género *Pocillopora* en la región de Zihuatanejo, México. Cartel en el Congreso Nacional de Zoología 2003,19-23 octubre, Puebla. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Oseguera-Cruz JM. 2004. Estructura comunitaria de corales hermatípicos en Caleta de Chon, Zihuatanejo, Guerrero, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Osinga R, Janssen M, Janse M, 2008. *The role of light in coral physiology and its implications for coral husbandry*. En: Leewis R, Janse M (eds.) *Advances in Coral Husbandry in Public Aquariums*, pp. 173–183. *Burgers' Zoo, Arnhem, the Netherlands*.
- Playas México. Playas de Guerrero México. Las Gatas. Revisado: 11/09/18 Disponible en: <http://www.playasmexico.com.mx/las-gatas-509.html>
- Pomeroy RS, Parks JE, y Balboa CM, 2006. *Farming the reef: is aquaculture a solution for reducing fishing pressure on coral reefs?* *Marine Policy* 30(2), 111–130. doi:10.1016/j.marpol.2004.09.001
- Raymundo L y Maypa A, 2004. *Getting Bigger Faster: Mediation of size-specific mortality via fusion in juvenile coral transplants*. *Ecological Applications*, 14: 281–295. doi:10.1890/02-5373

- Reyes-Bonilla H. 2003. *Coral Reefs of the Pacific Coast of Mexico. Latin American Coral Reefs*, p. 331.
- Reyes-Bonilla H, Calderón-Aguilera LE, Cruz-Piñón G, Medina-Rosas P, López-Pérez RA, Herrero-Pérez MD, Leyte-Morales GE, Cupul-Magaña AL y Carriquiry-Beltrán JD, 2005. Atlas de corales pétreos (Anthozoa: Scleractinia) del Pacífico mexicano. Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, México, pp. 23-24, 46.
- Reyes-Bonilla H, Calderón-Aguilera LE, Mozqueda-Torres MC, Carriquiry JD, 2014. Presupuesto de carbono en arrecifes coralinos de México. *Interciencia* 39: 645.
- Reyes-Bonilla H y López-Pérez RA, 1998. Biogeografía de los corales pétreos (Scleractinia) del Pacífico de México. *Ciencias Marinas*, 24, 211–224.
- Reyes-Bonilla H, López-Pérez RA, Paz-García DA, Parra-Madrazo G, Medina-Rosas P y Balart EF, 2017. Distribución del coral arrecifal *Pocillopora inflata* (Scleractinia) en el Pacífico Mexicano y comentarios sobre su situación taxonómica. *Hidrobiológica* vol.27 no.1, 131-135.
- Reyes-Bonilla H, Escobosa-González LE, Cupul-Magaña AL, Medina-Rosas P, Calderón-Aguilera LE, 2013. Estructura comunitaria de corales zooxantelados (Anthozoa: Scleractinia) en el arrecife coralino de Carrizales, Pacífico Mexicano. *Revista de Biología Tropical*, 61(2), 583-594.
- Reynaud-Vaganay S, Juillet-Leclerc A, Jaubert J y Gattuso J-P, 2001. *Effect of light on skeletal $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$, and interaction with photosynthesis, respiration and calcification in two zooxanthellate scleractinian corals. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 175, 393.*
- Reynaud S, Ferrier-Pagès C, Boisson F, Allemand D y Fairbanks RG, 2004. *Effect of light and temperature on calcification and strontium uptake in the scleractinian coral Acropora verweyi. *Marine Ecology Progress Series* 279, 105–112.*
- Richmond L y Hunter C, 1990. *Reproduction and recruitment of corals: comparisons among the Caribbean, the Tropical Pacific and the Red Sea. *Marine Ecology Progress Series*. 60: 185-203.*
- Riddle D, 2003. *Effects Of Narrow Bandwidth Light Sources On Coral Host And Zooxanthellae Pigments. *Advanced Aquarist* 2(11).*
- Rinkevich B, 1995. *Restoration Strategies for Coral Reefs Damaged by Recreational Activities: The Use of Sexual and Asexual Recruits. *Restoration Ecology*. 3: 241–251. doi: 10.1111/j.1526100X.1995.tb00091.x*
- Rinkevich B, 2005. *Conservation of coral reefs through active restoration measures: Recent approaches and last decade progress. *Environmental Science and Technology*. 39:4333-42.*
- Rocha RJM, Bontas B, Cartaxana P, Leal M C, Ferreira J M, Rosa R, Serôdio J y Calado R, 2015. *Development of a Standardized Modular System for Experimental Coral Culture. *Journal of World Aquaculture Society*, 46: 235–251.*
- Rocha RJM, Pimentel T, Serodio J, Rosa R, Calado R, 2013a. *Comparative performance of light emitting plasma (LEP) and light emitting diode (LED) in ex situ aquaculture of scleractinian corals. *Aquaculture* 402–403: 38–45.*

- Salcedo-Martínez S, Green G, Gamboa-Contreras A y Gómez P, 1988. Inventario de macroalgas y macroinvertebrados béticos, presentes en áreas rocosas de la región de Zihuatanejo, Guerrero, México. *Anales Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, UNAM, 15: 73-96.
- School of Ocean and Earth Science and Technology, 2016. Aragonite Saturation State of Seawater. University of Hawaii at Manoa. Revisado: 11/09/16 Disponible en: http://www.soest.hawaii.edu/mguidry/Unnamed_Site_2/Chapter%205/Figures/Box3SeawaterSaturationState.pdf*
- Schutter M, Van Der Ven RM, Janse M, Verreth JAJ, Wijffels RH, Osinga R, 2011. *Light intensity, photoperiod duration, daily light flux and coral growth of Galaxea fascicularis in an aquarium setting: a matter of photons? Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 92(4), 703–712.
- Schutter M, Van Velthoven B, Janse M, Osinga R, Janssen M, Wijffels R y Verreth J, 2008. *The effect of irradiance on longterm skeletal growth and net photosynthesis in Galaxea fascicularis under four light conditions. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 67, 75–80.
- Shafir S y Rinkevich B, 2008. *The underwater silviculture approach for reef restoration: An emergent aquaculture theme. In: Schwarts SH, (ed). Aquaculture Research Trends. New York, NY: Nova Science Publishers, p. 279-95.*
- Shaish L, Levy G, Gomez E y Rinkevich B, 2008. *Fixed and suspended coral nurseries in the Philippines; establishing the first step in the ‘gardening concept’ of reef restoration. Journal of Experiental Marine Biology and Ecology. 358: 86-97.*
- Sindermann C, Kennish M, Lutz P, 1995. *Ocean Pollution. Boca Raton: CRC Press.*
- Soong K y Chen T, 2003. *Coral transplantation; regeneration and growth of Acropora fragments in a nursery. Restoration Ecology* 11: 62-71.
- Spotte S, 1992. *Captive Seawater Fishes. Science and Technology. Wiley-Interscience, John Wiley and Sons, New York, p. 942.*
- Takabayashi M y Hoegh-Guldberg O, 1995. *Physiological and ecological differences between pink and brown genotypes of the reef-building coral, Pocillopora damicornis. Marine Biology* 123: 705–714.
- Thinesh T, Meenatchi R, Arul JP, Sehgal Kiran G y Selvin J, 2019. *Differential bleaching and recovery pattern of southeast Indian coral reef to 2016 global mass bleaching event: Occurrence of stress-tolerant symbiont Durusdinium (Clade D) in corals of Palk Bay. Marine Pollution Bulletin. 145: 287-294.*
- Titlyanov E y Titlyanova T, 2002. *Reef-building corals—symbiotic autotrophic organisms: 2. Pathways and mechanisms of adaptation to light. Russian Journal of Marine Biology* 28: 16–31.
- TWC (The Weather Channel) 2015. Almanaque: Observaciones diarias para Zihuatanejo, México. Revisado: 20/10/15 disponible en: <http://espanol.weather.com/weather/almanac/Zihuatanejo+GR+Mexico+MXGR0136:1:MX>

- Urbano B, 2004. Estructura comunitaria de gasterópodos de Zihuatanejo, Guerrero. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, p. 77.
- Verrill AE, 1864. *List of the polyps and corals sent by the Museum of Comparative Zoology to other institutions in exchange, with annotations. Bulletin of Museum Comparative Zoology.* Harvard 1: 29-60.
- Verrill AE, 1864. Review of corals and polyps of the West coast of America. Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences. 1: 377-558.
- Veron JEN, 1986. *Corals of Australia and the Indo-Pacific. Angus and Robertson. Publ., North Ryde, Australia, p. 644.*
- Veron JEN, 2000. *Corals of the World.* Vol. 1-3. Australian Institute of Marine Science, Queensland, p. 1410.
- Victoria I, 2007. Caracterización de la comunidad de corales escleractinios de Playa Las Gatas, Zihuatanejo, Guerrero, México: Fisiografía y Estructura comunitaria. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Walther-Mendoza M, Reyes-Bonilla H, LaJeunesse TC, López-Pérez A, 2016. *Distribution and diversity of symbiotic dinoflagellates in stony corals off the coast of Oaxaca, Mexican Pacific.* Revista Mexicana de Biodiversidad 87 (2), pp 417-426.
- Wang LH, Liu YH, Ju YM, Hsiao YY, Fang LS y Chen CS, 2008. *Cell cycle propagation is driven by light-dark stimulation in a cultured symbiotic dinoflagellate isolated from corals.* Coral Reefs, 27(4): 823-835. doi:10.1007/s00338-008-0434-z
- Wilkinson TAC, Bezaury Creel J, Hourigan TF, Agardy T, Janishevski L, Madden C, Morgan L y Padilla M, 2009. Pacífico Transicional Mexicano. pp. 91-94. En: Wilkinson TAC, Bezaury Creel J, Hourigan TF, Agardy T, Janishevski L, Madden C, Morgan L y Padilla M, Ecoregiones Marinas de América del Norte. Comisión de la Cooperación Ambiental, p. 197.
- Wijgerde T, 2018. *Effects of light spectrum on growth and colouration of the corals Stylophora pistillata and Porites cylindrica.* Advanced Aquarist. 19 (4).
- Wijgerde T, Spijkers P, Karruppanan E, Verreth JAJ, Osinga R, 2012a. *Water flow affects zooplankton feeding by the scleractinian coral Galaxea fascicularis on a polyp and colony level.* Journal of Marine Biology 2012: 1-7.
- Wijgerde T, Jurriaans S, Hoofd M, Verreth JAJ, Osinga R, 2012b. *Oxygen and heterotrophy affect calcification of the scleractinian coral Galaxea fascicularis.* PLoS One 7: e52702.
- Wijgerde T, Melis AV, Silva CIF, Leal MC, Vogels L, Mutter C *et al.* 2014. *Red light represses the photophysiology of the scleractinian coral Stylophora pistillata.* PLoS One 9: e92781.

-Wyrski K, 1965. Corrientes superficiales del Océano Pacífico. *Oriental Tropical. Bulletin American Tropical Tuna Communications* 9: 270-295.

-Wyrski K, 1966. *Oceanography of the Eastern Pacific Ocean. Oceanography and Marine Manual Review* 4: 33-68.

-Zakai D, Levy O y Chadwick-Furman N, 2000. *Experimental fragmentation reduces sexual reproductive output by the reef-building coral Pocillopora damicornis*. *Coral Reefs* 19: 185. <https://doi.org/10.1007/s003380000091>

Anexo de información complementaria

Tipos de arrecifes de coral

Myers (1989) menciona que hay varios tipos de arrecifes: los bordeantes, los de barrera, los atolones, y los de tipo parche; se pueden encontrar tanto en la plataforma como en la parte oceánica. Esta clasificación se cree que tiene un criterio cronológico ya que mediante núcleos se ha observado que los bordeantes son los primeros en formarse. Conforme crece el arrecife verticalmente y horizontalmente los corales que quedan más encerrados tienden a morir dejando un espacio entre la costa y el arrecife externo, que se conoce como laguna arrecifal y el arrecife se vuelve una barrera (Myers, 1989). Al paso del tiempo geológico en las aguas marinas someras de zonas volcánicas se forman aros de arrecife que se conocen como arrecifes de tipo atolón, el cono del volcán sirve como base para que se asienten corales formadores de arrecife y se favorece la formación de suelo arrecifal (Delbeek y Sprung, 1994).

Los hexacorales ahermatípicos y octocorales llegan a ser un componente importante de la comunidad o el arrecife, ya que cuando estos mueren, sus escleritas pueden ser depositadas y cementadas al paso de los años aumentando la cobertura de la roca de carbonato de calcio y así se forman rompeolas de manera natural (Jeng et al. 2011).

Historia del estudio de corales pétreos en el Pacífico Mexicano

Verrill desde finales del siglo IX fue pionero en el estudio de corales en la costa oeste de México y de la costa oeste de América, fue el primero en describir a algunos pocilloporidos como *Pocillopora capitata* y otros corales (Verrill, 1864, 1868). Durante los años 40's del siglo XX se retomaron los estudios en corales con un enfoque taxonómico y se describieron los primeros arrecifes como tal principalmente alrededor del Golfo de California. Reyes Bonilla (2003) caracterizó las aguas mexicanas del Pacífico por presentar arrecifes pequeños y parches discontinuos con baja diversidad de especies coralinas, posteriormente entre los años setenta y ochenta se registran más zonas hacia el sur de México que se denominaron arrecifes coralinos (Reyes Bonilla et al. 2005), entre estas zonas está Zihuatanejo, Guerrero que es donde habita *Pocillopora capitata*. Posteriormente se llevaron a cabo revisiones y modificaciones taxonómicas, y se reconoció que las poblaciones de corales de México hasta Ecuador son poblaciones que se componen por especies inmigrantes del Pacífico central (Reyes-Bonilla et al. 2005).

Se ha estudiado que las variables ambientales que tienen mayor influencia sobre el crecimiento en orden de importancia son: la luz (Buddemeier 1974, Wellington y Glynn 1983, Falkowski 2000) el estado de saturación de aragonita, la temperatura, la concentración de nutrientes, el pH y la sedimentación.

Estado de saturación de aragonita en el agua de mar

Los animales marinos que son calcificadores están generalmente restringidos a áreas donde el agua de mar tiene un alto estado de saturación de aragonita, es decir, que las aguas donde habitan estos organismos tienen una alta concentración de minerales carbonatados disueltos en el agua que son necesarios para la formación de estructuras calcáreas de carbonato de calcio y se denomina omega aragonita (Ω_{arg}) (NOAA Coral Reef Watch, 2013), que se ejemplifica por la siguiente reacción: $Ca^{2+} + CO_3^{2-} \leftrightarrow CaCO_3$. (SOEST, 2016). Se define como el producto de las concentraciones de iones de calcio y carbonatos disueltos, divididos por su producto en equilibrio: $([Ca^{2+}] \times [CO_3^{2-}]) / [CaCO_3] = \Omega$.

Si $\Omega = 1$ entonces el agua de mar se encuentra en equilibrio respecto a la aragonita, es decir, la tasa de precipitación de carbonato de calcio y la tasa de disolución del mismo en iones de calcio y carbonato se

encuentra en la misma proporción. Cuando el valor de $\Omega > 1$, el agua de mar se encuentra supersaturada y entonces se favorece la precipitación de aragonita. Si $\Omega < 1$ el agua de mar se encuentra subsaturada respecto a la aragonita favoreciendo su disolución en iones de calcio y carbonato (SOEST, 2016).

Anexo: Resultados

Tasas de crecimiento y tasas de aumento en peso por fragmento más pequeño al más grande

A continuación se muestran las tasas de crecimiento en área y en peso obtenidas durante el experimento para la condición 11:13 LO, las tasas se muestran comparando periodos de enero a mayo, y de mayo a septiembre (Fig. 31).

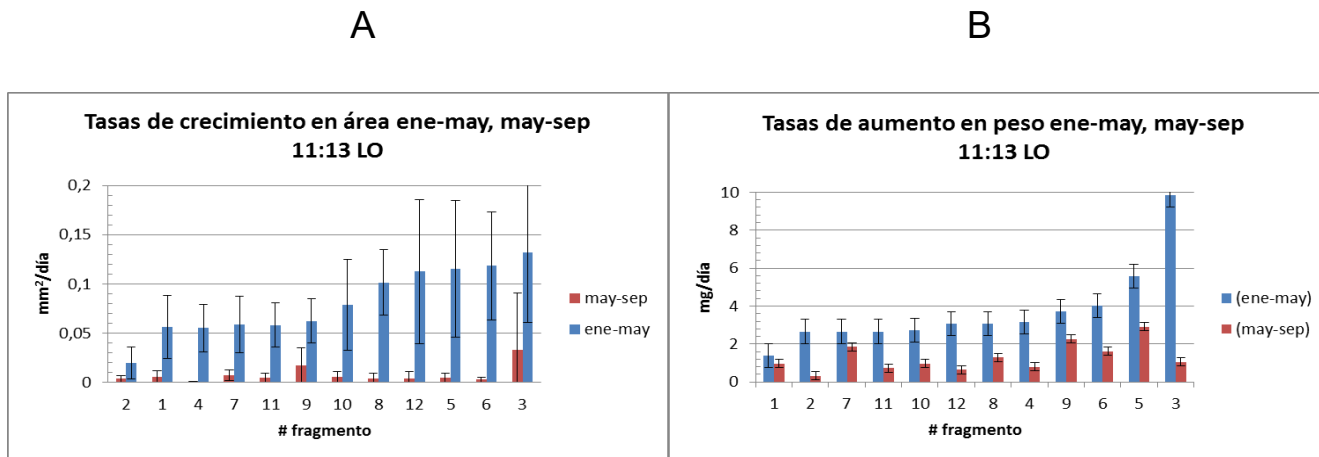


Figura 31. A: tasas de crecimiento en área de enero a mayo (■), y de mayo a septiembre (■), promedios con barras de error con desviación estándar. B: tasas de aumento en peso durante enero a mayo (■), y de mayo a septiembre (■), promedios con barras de error típico. Los fragmentos de la condición 11:13 LO están ordenados de menor a mayor en ambos casos.

Área

En esta condición el crecimiento promedio de cada fragmento fue diferente. Los fragmentos 8, 12, 5, 6 y 3 destacan entre todos ya que tienen las mayores tasas de crecimiento en área ($\bar{x} = 0.12 \text{ mm}^2/\text{día}$) (Fig. 31 A ■) y con un crecimiento total mayor a 1 cm^2 de área al fin del experimento. Para todos los fragmentos las mayores tasas ocurrieron de enero hacia mediados de mayo, destacando esta condición experimental entre todas las demás en este periodo. Hacia finales de mayo hasta septiembre se registró una caída significativa en las tasas del 85% en promedio, con un valor entre 0 y $0.03 \text{ mm}^2/\text{día}$ (Fig. 31 A ■).

Peso

Por su parte, el aumento promedio en peso también fue diferente. El aumento en peso tuvo su mejor desempeño en los fragmentos 3 y 5 ($\bar{x} = 7.9 \text{ mg}/\text{día}$) y fueron los únicos en superar 1 gr en peso total al fin del experimento mientras que las tasas promedio del resto fue de $3 \text{ mg}/\text{día}$ (Fig. 31 B ■). Para todos los fragmentos las mayores tasas ocurrieron de enero hacia mediados de mayo. Hacia finales de mayo hasta septiembre se registró una caída significativa en las tasas del 68% en promedio, con valores aproximados a $1 \text{ mg}/\text{día}$ (Fig. 31 B ■).

A continuación se muestran las tasas de crecimiento en área y en peso obtenidas durante el experimento para la condición 12:12 LO, las tasas se muestran comparando periodos de enero a mayo, y de mayo a septiembre (Fig. 32).

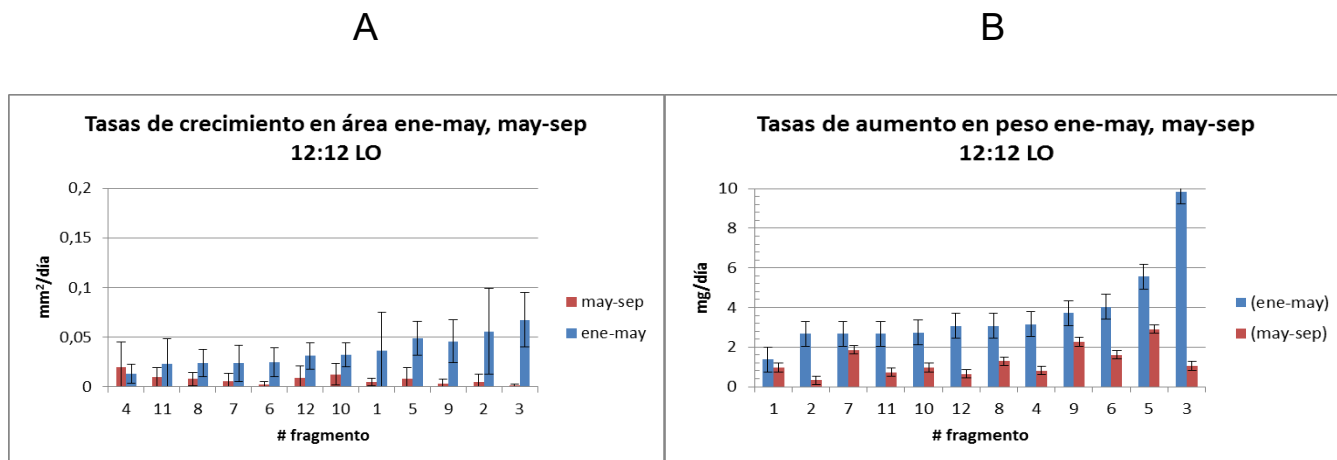


Figura 32. A: tasas de crecimiento en área de enero a mayo (■), y de mayo a septiembre (■), promedios con barras de error con desviación estándar. B: tasas de aumento en peso durante enero a mayo (■), y de mayo a septiembre (■), promedios con barras de error típico. Los fragmentos de la condición 12:12 LO están ordenados de menor a mayor en ambos casos.

Área

En esta condición el crecimiento promedio de cada fragmento fue diferente. De enero a mayo los fragmentos 5, 9, 2 y 3 destacan entre los demás fragmentos ya que tienen las mayores tasas de crecimiento en área ($\bar{x} = 0.057 \text{ mm}^2/\text{días}$) mientras que el resto tiene en promedio $0.025 \text{ mm}^2/\text{días}$ (Fig. 32 A ■). Para todos los fragmentos las mayores tasas ocurrieron de enero hacia mediados de mayo a excepción del fragmento 4. Hacia finales de mayo hasta septiembre se registró una caída significativa en las tasas del 77% en promedio, con un valor entre 0 y $0.24 \text{ mm}^2/\text{día}$ (Fig. 32 A ■). El crecimiento de los fragmentos fue menor comparado con todas las condiciones experimentales y es a partir de mediados de mayo que se observó un periodo de estasis donde el crecimiento se estancó.

Peso

Por su parte, el aumento promedio en peso también fue diferente. El aumento en peso tuvo su mejor desempeño en los fragmentos 5 y 3 ($\bar{x} = 7.9 \text{ mg}/\text{día}$), mientras que para el resto la tasa promedio es de $3 \text{ mg}/\text{día}$ (Fig. 32 B ■). Para todos los fragmentos las mayores tasas ocurrieron de enero hacia mediados de mayo. Hacia finales de mayo hasta septiembre se registró una caída significativa en las tasas del 65% en promedio, con valores aproximados a $1 \text{ mg}/\text{día}$ (Fig. 32 B ■).

A continuación se muestran las tasas de crecimiento en área y en peso obtenidas durante el experimento para la condición 13:11 LO, las tasas se muestran comparando periodos de enero a mayo, y de mayo a septiembre (Fig. 33).

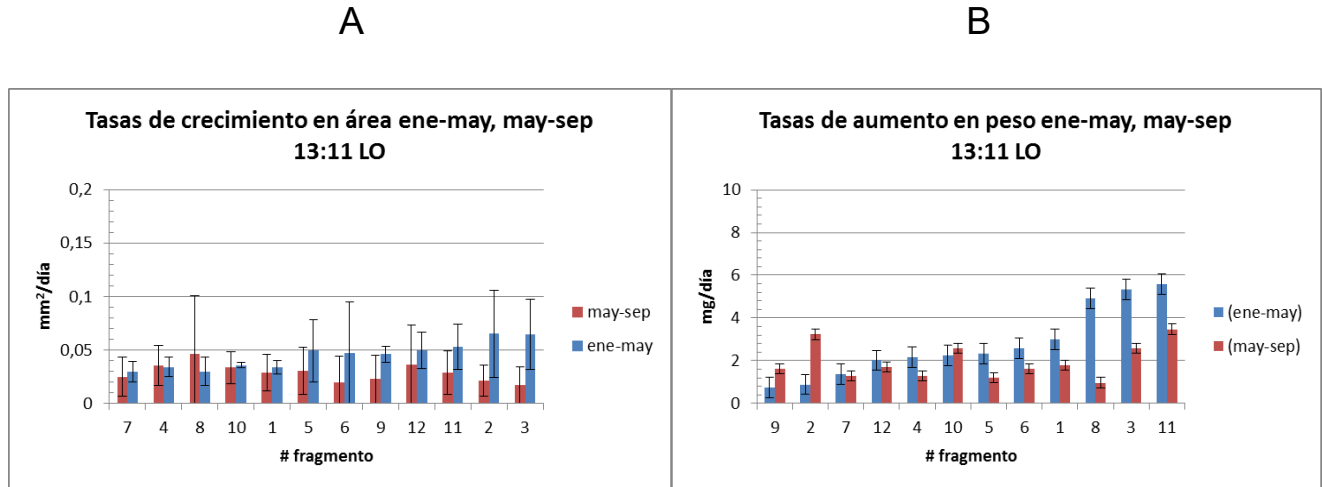


Figura 33. A: tasas de crecimiento en área de enero a mayo (■), y de mayo a septiembre (■), promedios con barras de error con desviación estándar. B: tasas de aumento en peso durante enero a mayo (■), y de mayo a septiembre (■), promedios con barras de error típico. Los fragmentos de la condición 13:11 LO están ordenados de menor a mayor en ambos casos.

Área

En esta condición el crecimiento promedio de cada fragmento fue diferente. De enero a mayo los fragmentos 12, 11, 2 y 3 destacan entre los demás fragmentos ya que tuvieron las mayores tasas de crecimiento ($\bar{x} = 0.061 \text{ mm}^2/\text{día}$) mientras que el promedio del resto es de $0.042 \text{ mm}^2/\text{día}$ (Fig. 33 A ■). Para todos los fragmentos las mayores tasas ocurrieron de enero hacia mediados de mayo a excepción del fragmento 8. Hacia finales de mayo hasta septiembre se registró una caída significativa en las tasas del 77% en promedio, con un valor promedio de $0.029 \text{ mm}^2/\text{día}$ (Fig. 33 A ■).

Peso

Por su parte, el aumento promedio en peso también fue diferente. El aumento en peso tuvo su mejor desempeño en los fragmentos 8, 3 y 11 ($\bar{x} = 5.1 \text{ mg/día}$), mientras que para el resto la tasa promedio es de 1.4 mg/día (Fig. 33 B ■). Para todos los fragmentos las mayores tasas ocurrieron de enero hacia mediados de mayo a excepción de los fragmentos 9 y 2. Hacia finales de mayo hasta septiembre se registró una caída significativa en las tasas del 63.5% en promedio, con valores aproximados a 1.9 mg/día (Fig. 33 B ■).

A continuación se muestran las tasas de crecimiento en área y en peso obtenidas durante el experimento para la condición 16:8 LO, las tasas se muestran comparando periodos de enero a mayo, y de mayo a septiembre (Fig. 34).

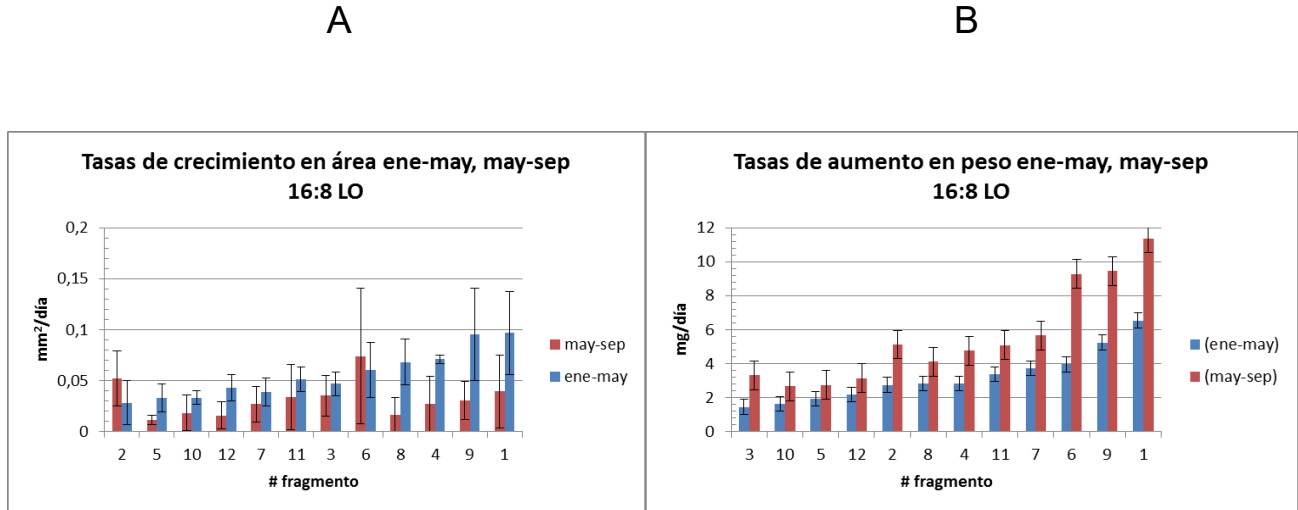


Figura 34. A: tasas de crecimiento en área de enero a mayo (■), y de mayo a septiembre (■), promedios con barras de error con desviación estándar. B: tasas de aumento en peso durante enero a mayo (■), y de mayo a septiembre (■), promedios con barras de error típico. Los fragmentos de la condición 16:8 LO están ordenados de menor a mayor en ambos casos.

Área

En esta condición el crecimiento promedio de cada fragmento fue diferente. Los fragmentos 6, 8, 4, 9 y 1 destacan entre los demás fragmentos ya que tienen las mayores tasas de crecimiento ($\bar{X} = 0.60 \text{ mm}^2/\text{día}$) mientras que el promedio del resto es de $0.36 \text{ mm}^2/\text{día}$ (Fig. 34 A ■). Para todos los fragmentos las mayores tasas ocurrieron de enero hacia mediados de mayo a excepción del fragmento 2 y 6. Hacia finales de mayo hasta septiembre se registró una caída en las tasas del 19% en promedio, con un valor promedio de $0.28 \text{ mm}^2/\text{día}$ (Fig. 34 A ■).

Peso

Inversamente, al mayor desempeño de la condición 11:13 LO durante ene-may, es esta la condición durante may-sep la que muestra un mayor desempeño más notorio en las tasas de peso, destacando los fragmentos 6, 9 y 1 ($\bar{X} = 10.4 \text{ mg/día}$), mientras que para el resto la tasa promedio es de 4 mg/día (Fig. 34 B ■). Durante el periodo de ene-may las tasas fueron en promedio de 3 mg/día y se registró una caída en las tasas de 19% en promedio comparado con el periodo de may-sep. (Fig. 34 B ■).