



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

Influencia de la edad y el tamaño en la sobrevivencia de reclutas sexuales de *Acropora palmata* cultivados ex situ a partir de su introducción a un vivero marino en el arrecife Las Cuevas, Quintana Roo, México

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

Biólogo
P R E S E N T A:

Ana Laura Aguilar Morales



DIRECTOR DE TESIS:
Dr. Anastazia Teresa Banaszak
2015

Ciudad Universitaria, D. F.



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.

Alumna

Ana Laura Aguilar Morales

Contacto

5518713515, analau555@gmail.com

Datos del jurado

Dra. María Ana Fernández Álamo

mafa@ciencias.unam.mx

Dra. Elva Guadalupe Escobar Briones

escobri@cmarl.unam.mx

Dra. Anastazia Teresa Banaszak

banaszak@cmarl.unam.mx

Dr. Alejandro Estrada Romero

a_estradas@hotmail.com

Dr. Guillermo Horta Puga

horta@unam.mx

Agradecimientos

- Se agradece a mi directora de Tesis y líder del proyecto de restauración, Anastazia Banaszak por permitirme participar en el proyecto
- Se agradece a los integrantes del Programa Interdisciplinario de Restauración Activa para compensar daños antropogénicos en arrecifes coralinos del Caribe Mexicano; por permitirme participar dentro del proyecto
- Se agradece a todo el personal del Eco Parque Xcaret por su colaboración en el proyecto
- Se agradece a mis sinodales por haber participado en el análisis de este trabajo.
- Se agradece al Servicio Académico de Meteorología y Oceanografía de la UASA del ICML de la UNAM, M. en C. Francisco Gerardo Ruiz Rentería y M. en C. José Edgar Escalante Mancera, por los datos de precipitación en Puerto Morelos.
- Se agradece a la Unidad de Informática Marina (UNIMAR) del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, por los datos y mapa de corrientes marinas superficiales.

Agradecimientos personales

A mi familia por brindarme esta gran oportunidad

A mi amor David por acompañarme en todo momento

A Lucero y a David por su confianza

A Erika Gress por su gran pasión hacia el mar

Resumen

Los arrecifes coralinos son ecosistemas marinos que albergan el 5% de la biodiversidad de especies en el mundo; participan en la formación de las playas, protección a la costa, fijación de nutrientes, se relacionan con otros ecosistemas y otras especies marinas. El ser humano obtiene beneficios directos de los arrecifes por medio del turismo y la pesca para el sector alimentario, farmacéutico o comercial. A lo largo de las últimas dos décadas los arrecifes de coral de todo el mundo, particularmente los del Caribe y mar Atlántico han cambiado drásticamente por la combinación de impactos de origen natural y antropogénica.

Los arrecifes de coral, como cualquier otro ecosistema, poseen resiliencia, capacidad de amortiguar disturbios recurrentes o perturbaciones y adaptarse al cambio mientras conserva la función y estructura esencial. La restauración de arrecifes de coral busca restablecer la resiliencia del ecosistema, recuperando la complejidad estructural y función, considerando que la causa del deterioro debe ser removida o controlada. Las poblaciones del género *Acropora* han estado en declive al menos desde cuatro décadas y particularmente el porcentaje de sitios en el Sistema Arrecifal Mesoamericano con presencia de *Acropora palmata* ha decrecido de un 74% al 48% en el período 1985-2012. *Acropora palmata* es uno de los corales que se encuentra protegida por el gobierno mexicano y se ha utilizado para acciones de restauración, principalmente utilizando fragmentos de una colonia grande, es decir clones.

Este trabajo utilizó reclutas sexuales (organismos producto de fertilización) de *Acropora palmata*, cultivados *ex situ* en una granja de corales, de diferentes edades para determinar la edad óptima de introducción al mar para ser utilizados en acciones de restauración. Los reclutas sexuales son organismos de la misma especie genéticamente distintos entre sí, con diferentes capacidades. Esta variabilidad, producto de la reproducción sexual aumenta la probabilidad de sobrevivencia de la especie a lo largo del tiempo en un ambiente cambiante.

En el mes de abril de 2014 se trasladó a un vivero marino doce reclutas de *Acropora palmata* 2.8 años de edad, dieciocho de 1.8 años de edad y catorce de 0.8 años de edad. Se monitoreó su sobrevivencia durante 75 días durante los meses de abril, mayo y junio 2014; obteniendo 100%, 94.4% y 0% de sobrevivencia respectivamente. A demás se midió crecimiento, obteniendo que la tasa de crecimiento de los reclutas de 2.8 años de edad fue mayor que los de de 1.8 años. Todos los reclutas mayores a 1.8 años presentaron algún tipo de mortalidad parcial causados principalmente por depredación por

peces y en menores casos por fragmentación o por algún otro estrés ambiental. Durante la estancia en el vivero marino se llevó a cabo un plan de limpieza, el cual consistió en la remoción de algas y sedimento en el tejido vivo de los reclutas. Los parámetros de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y nutrientes (NO_3 , NO_2 , NH_3 y PO_4) se mantuvieron dentro de los estándares de calidad de agua para *Acropora palmata* y no presentaron diferencias entre la granja de corales y el vivero marino al menos para el mes de abril.

La mayoría de los reclutas lograron tener una recuperación en las áreas dañadas durante el período de monitoreo difiriendo en tiempos. Un mayor número de reclutas de 2.8 años de edad lograron recuperarse a comparación de los de 1.8 años de edad.

En conclusión la edad óptima del traslado de los reclutas sexuales a un sitio con condiciones similares a las del vivero marino es a partir de los 1.8 años de edad. Los reclutas de 0.8 años de edad no lograron sobrevivir por que se encontraban en una desventaja debido a que durante la estancia en la granja de corales posiblemente estuvieron expuestos a agua dulce por períodos lagos de lluvia afectando probablemente su crecimiento.

Tabla de contenido

| | |
|---|-----------|
| Introducción | 9 |
| Antecedentes | 13 |
| Justificación | 14 |
| Hipótesis | 15 |
| Objetivos | 15 |
| <i>General</i> | 15 |
| <i>Particular</i> | 15 |
| Área de estudio | 16 |
| <i>Características físicas</i> | 16 |
| <i>Ubicación geográfica</i> | 16 |
| Material y Métodos | 18 |
| <i>Obtención de reclutas sexuales</i> | 18 |
| <i>Mantenimiento de los reclutas sexuales</i> | 20 |
| <i>Descripción de los reclutas sexuales</i> | 22 |
| <i>Descripción del vivero marino</i> | 23 |
| <i>Traslado y acomodo</i> | 23 |
| Monitoreo | 24 |
| <i>Monitoreo de parámetros ambientales</i> | 25 |
| <i>Monitoreo biológico</i> | 28 |
| Análisis estadístico | 29 |
| Plan de manejo de los reclutas | 29 |
| Resultados | 31 |
| <i>Monitoreo ambiental</i> | 31 |
| <i>Monitoreo biológico</i> | 43 |
| Discusión | 53 |
| <i>Sobrevivencia</i> | 53 |
| <i>Mortalidad parcial y Recuperación</i> | 54 |
| <i>Crecimiento</i> | 46 |
| <i>Influencia del medio ambiente</i> | 56 |
| <i>Implicaciones para la restauración</i> | 57 |
| Conclusiones | 59 |
| Anexos | 60 |
| Referencias | 78 |

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 Ubicación geográfica del vivero marino en el sitio “Las Cuevas”, Punta Venado y La Bocana | 17 |
| Figura 2 Las corrientes superficiales marinas alrededor del sitio “Las Cuevas” señalado con un punto rojo | 17 |
| Figura 3 Captura de desove de <i>A. palmata</i> 2013 en La Bocana utilizando una red de colecta y remoción de depredadores y espermas | 19 |
| Figura 4 Tinajas de la granja de corales y reclutas sexuales en plataformas de PVC | 20 |
| Figura 5 Plataformas de concreto adheridas al suelo conformando el vivero marino | 22 |
| Figura 6 Plataforma de concreto del vivero marino mostrando sus dimensiones | 23 |
| Figura 7 Ejemplo de clave de reconocimiento para un recluta sexual de <i>A. palmata</i> | 24 |
| Figura 8 Ejemplo de actividades en el vivero | 25 |
| Figura 9 Trampa de sedimento colocada en la plataforma “F” y sensor de Luz colocado en la plataforma “D” en el vivero marino | 26 |
| Figura 10 Salinidad reportada en la granja de corales y en el vivero marino | 32 |
| Figura 11 Temperatura reportada en la granja de corales y en el vivero marino | 33 |
| Figura 12 Oxígeno disuelto reportado en la granja de corales y en el vivero marino | 34 |
| Figura 13 Concentración de nitrato reportada en la granja de corales y en el vivero marino | 35 |
| Figura 14 Concentración de nitrito reportada en la granja de corales y en el vivero marino | 36 |
| Figura 15 Concentración de amonio reportada en la granja de corales y en el vivero marino | 37 |
| Figura 16 Concentración de fosfatos reportada en la granja de corales y en el vivero marino | 38 |
| Figura 17 Visibilidad horizontal en el vivero marino..... | 39 |
| Figura 18 Radiación fotosintéticamente activa en la granja de corales y en el vivero marino | 40 |
| Figura 19 Número de observaciones de las especies de peces en el vivero marino | 43 |
| Figura 20 <i>Chaetodon ocellatus</i> alimentándose de pólipos de un recluta sexual de la categoría 2011..... | 44 |
| Figura 21 Mortandad de recluta sexual de la categoría 2012 | 44 |
| Figura 22 Porcentaje de sobrevivencia por categoría de edad al finalizar el monitoreo de 75 días..... | 44 |
| Figura 23 Número de reclutas sexuales muertos de la categoría 2013-UNAM por fecha y posible causa de mortandad | 45 |
| Figura 24 Número de reclutas sexuales muertos de la categoría 2013-XCARET por fecha y posible causa de mortandad | 49 |

| | |
|---|----|
| Figura 25 Ejemplo de daños en las coralitas por depredación | 50 |
| Figura 26 Ejemplo de desprendimiento de tejido duro por depredación | 50 |
| Figura 27 Ejemplo de extensión del daño por herida inicial en un recluta | 50 |
| Figura 28 Ejemplo de herida por fragmentación en las ramas del recluta | 51 |
| Figura 29 Ejemplo de heridas causadas por competencia | 51 |
| Figura 30 Ejemplos de crecimiento basal..... | 51 |
| Figura 31 Ejemplos de áreas de crecimiento poliposterinales | 52 |
| Figura 32 Colonias de <i>A. palmata</i> del sitio “Las Cuevas” cercanas al vivero marino | 76 |
| Figura 33 Precipitación mensual de agosto 2013 a mayo 2014 en Puerto Morelos, Quintana Roo (SAMMO-UASA 2015)..... | 77 |
| Figura 34 Precipitación mensual de septiembre 2013 a abril 2014 en Cozumel (sitio de monitoreo de precipitación más cercano al vivero marino), Quintana Roo (The Weather Channel 2015) | 77 |

Lista de Tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Descripción del tipo de alimento, cantidad y periodicidad | 21 |
| Tabla 2 Número de salidas y fechas por mes durante el monitoreo..... | 24 |
| Tabla 3 Número de días por período de estancia de la trampa de sedimento | 25 |
| Tabla 4 Número de salidas y fechas por mes correspondiente al muestreo de radiación solar..... | 27 |
| Tabla 5 Pruebas estadísticas por planteamiento | 29 |
| Tabla 6 Plan de manejo por grupo..... | 30 |
| Tabla 7 Reclutas de la categoría 2011 y 2012 con tipo de herida sin recuperación de tejido vivo..... | 47 |
| Tabla 8 Periodo, tiempo de recuperación y tipo de recuperación de áreas dañadas presentes en los reclutas 2012 | 47 |
| Tabla 9 Periodo, tiempo de recuperación y tipo de recuperación de áreas dañadas presentes en los reclutas 2011 | 48 |
| Tabla 10 Seguimiento fotográfico de los reclutas sexuales 2013..... | 60 |
| Tabla 11 Seguimiento fotográfico de los reclutas sexuales 2012..... | 65 |
| Tabla 12 Seguimiento fotográfico de los reclutas sexuales 2011..... | 72 |

Introducción

Los arrecifes coralinos son ecosistemas marinos que son formados por corales hermatípicos (Goreau *et al.* 1979). Algunos de los servicios que brinda el arrecife de coral son a) biodiversidad del 5% de las especies del planeta y 25% de las especies marinas como animales bentónicos y planktónicos (Arias-González *et al.* 2011, Graham 2013), b) formación de playas por medio de erosión de la estructura coralina, c) protección a la costa de huracanes por disminuir la intensidad de ellos, d) la fijación del nitrógeno y de CO₂ mediante los ciclos alimenticios de las especies que habitan el arrecife a partir de la interacción con otros organismos e) relación con el equilibrio de otros ecosistemas como praderas de pastos marinos y bosques de mangle (Schuhmacher 1978, Beltran-Torres *et al.* 2011), f) el refugio y la protección para especies, incluso especies de interés comercial (Carabias *et al.* 2000, Garza-Pérez 2009, CONABIO 2009).

Para beneficio directo del ser humano los arrecifes proveen de servicios turísticos y económicos por medio del aprovechamiento de especies marinas para la industria alimenticia, farmacéutica o para la industria comercializadora de vida marina (Schuhmacher 1978, Cinner *et al.* 2009). Se estima que los arrecifes del todo el mundo generan un aproximado de 375 millones de dólares anuales por actividades pesqueras, obtención de materias primas para la industria médica y alimenticia, materiales de construcción y materia prima para artesanías (Beltran-Torres *et al.* 2011).

A lo largo de las últimas dos décadas los arrecifes de coral de todo el mundo, particularmente los del Caribe y mar Atlántico han cambiado drásticamente por la combinación de impactos de origen natural y antropogénica (Precht *et al.* 2006, Hernández-Zárate *et al.* 2011, Okamoto *et al.* 2012, Guest 2014, Rodríguez-Martínez *et al.* 2014). La cobertura coralina en todo el mundo ha disminuido de un 80% a un 10% (Gardner *et al.* 2003) impactando en la abundancia y diversidad de otras especies (Graham y Nash 2013). Dentro de los impactos naturales se puede mencionar tormentas, huracanes, fenómenos climatológicos como “El Niño”, mareas bajas extremas, depredación y enfermedades. De los impactos por actividades humanas se pueden mencionar la sobrepoblación y destrucción de hábitat por proyectos de desarrollos urbanos y turísticos. Tan solo en el año 2005 se reportó el ingreso de 1 millón de visitantes a la Riviera Maya, Quintana Roo, provocando una acelerada transformación en ecosistemas marinos, selvas y humedales (Carabias *et al.* 2000). La sobreexplotación de recursos tanto pesqueros como forestales y la contaminación por derrame de aceites, aportación de sedimento (Granja *et al.* 2008) y descargas de aguas residuales por falta de

gestión de acuíferos ejercen un impacto importante en el funcionamiento del ecosistema arrecifal (Hernández-Terrones 2010). También las actividades recreativas costeras, como buceo, snorkel y encallamientos dañan la estructura del arrecife (Rogers 1994, Precht *et al.* 2006). El aceleramiento del efecto invernadero genera un incremento en la temperatura del mar superficial y la disminución del pH ocasionando acidificación marina los cuales impactan de manera directa a los corales escleractineos ocasionando el blanqueamiento coralino y la reducción en la tasa de calcificación (Albright *et al.* 2010). El aumento de la temperatura en el mar propicia desordenes climatológicos, como el que se presentó en el año 2005. Veinticinco tormentas tropicales y trece huracanes dañaron colonias coralinas en Cozumel reduciendo a la mitad la cobertura inicial (Wilkinson 2008). Los arrecifes de coral, como cualquier otro ecosistema, poseen resiliencia, capacidad de amortiguar disturbios recurrentes o perturbaciones y adaptarse al cambio mientras conserva la función y estructura esencial. Si la velocidad de algún deterioro presente en el ecosistema es mayor y constante, la resiliencia disminuye y los arrecifes entran en un estado de sucesión diferente, dominada por otras especies (McClanahan *et al.* 2012). Estudios demuestran que los arrecifes más resilientes son aquellos con la mayor diversidad de corales y peces y con el menor número de impactos humanos (Sandin *et al.* 2008). Uno de los principales indicadores del estado de condición que presenta un arrecife es la estructura de la comunidad coralina (Garza-Pérez 2009, Graham y Nash 2013).

La restauración de arrecifes de coral busca restablecer la resiliencia del ecosistema, recuperando la complejidad estructural y función, considerando que la causa del deterioro debe ser removida o controlada. De las principales actividades de restauración que se llevan a cabo en los arrecifes coralinos son los referentes a rehabilitación, recuperando la composición estructural mediante la repoblación de especies constructoras. Esta repoblación se puede obtener mediante el trasplante de especies clave de colonias previamente crecidas o fragmentos recolectados (Nava 2011) y la construcción de una granja de coral o vivero con fragmentos tomados de colonias vivas o bien con reclutas sexuales. De hecho la construcción de vivero marinos se considera una técnica que se ha sugerido en acciones de restauración (Putchim *et al.* 2008, Nava 2011, Schopmeyer *et al.* 2012). Otras técnicas de restauración se basan en la inmersión de estructuras de diversos materiales para la formación de “arrecifes artificiales”. Sin embargo a pesar de que contribuya como refugio para organismos y posible sustrato de asentamiento para

corales, inundar una estructura debe estar respaldado con investigación previa (Zimmer 2006).

Acropora palmata es uno de los principales especies de corales constructores de arrecifes someros en el Atlántico (Gladfelter 1982). Las poblaciones del género *Acropora* han estado en declive al menos desde cuatro décadas (Porter y Meier 1992, Aronson 2001, Schopmeyer *et al.* 2012). Desde los mediados de los años 70's, *A. palmata* y *A. cervicornis* enfrentaron una muerte masiva causada por la enfermedad de banda blanca disminuyendo casi un 95% la cobertura de éstos corales en los arrecifes del Caribe (Aronson *et al.* 2001, Quinn *et al.* 2006). El porcentaje de sitios en el Sistema Arrecifal Mesoamericano con presencia de *Acropora palmata* ha decrecido de un 74% al 48% en el período 1985-2012 (Rodríguez-Martínez *et al.* 2014).

La alteración de *A. palmata* ha causado modificaciones en el paisaje arrecifal, con implicaciones como la pérdida de hábitats y estructura arrecifal (Nava 2011). Actualmente ésta especie forma parte de las cincuenta y uno especies mexicanas listados en la Norma Oficial Mexicana, NOM-059, que representan las especies amenazadas o en peligro de extinción (CONABIO 2009). El papel estructural y ecológico de *A. palmata* en la región del Caribe es único y no puede ser reemplazado por otra especie de coral (Jackson 1994, Lirman 1999, Precht *et al.* 2002, González 2008).

Acropora palmata (Lamarck 1816) existe desde hace 500,000 años (Bruckner 2003) comúnmente conocido como "Cuerno de Alce". Aparte de ser un coral hermatípico es un coral zooxantelado, presenta algas endosimbióticas (*Symbiodinium* sp.) en el interior de las células gastrodérmicas., dándole el color característico de rojizo-marrón a los tentáculos y a toda la colonia (Schuhmacher 1978). Esta simbiosis consiste en el aprovechamiento y producción de recursos alimenticios basado en translocación a partir de procesos de fotosíntesis y respiración. Por la capacidad de formar una estructura dura, tener una alta tasa de crecimiento (8 a 9 cm/año) y una tasa de regeneración alta de casi 2 cm/ año (Gladfelter *et al.* 1978, Padilla *et al.* 1990), *Acropora palmata* es de los principales corales constructores de arrecife en el mar Caribe. En México habita en el Sistema Arrecifal Mesoamericano en las costas de Quintana Roo y en los arrecifes del sur de Veracruz, Tabasco, Campeche y Yucatán (Horta-Puga 1993, Padilla 1996, Conabio 2011, Rodríguez-Martínez *et al.* 2014).

Acropora palmata es una especie hermafrodita, con reproducción sexual una vez al año. La liberación de huevos y espermatozoides sucede en un desove sincronizado entre los meses de julio y agosto con un aporte de 5.6 y 12.8 huevos por pólipo (Szmant 1986, Conabio

2011). El índice de reclutamiento es bajo, por lo que la reproducción vegetativa o asexual es la principal estrategia (Jackson 1977, Bak *et al.* 1979, Wittenberg *et al.* 1992) esto gracias a que por su característico crecimiento vertical, las ramas se caen por su propio peso (Bak 1976). Se ha sugerido que el bajo índice de reclutamiento es debido a que el asentamiento exitoso de la larva plánula depende de la disponibilidad de substrato, corrientes marinas, la depredación, la sedimentación, cobertura algal, radiación ultravioleta, entre otros (Babcock 1985, Petersen 2001). La fragmentación puede traer consigo beneficios como acelerar la tasa de crecimiento de una colonia grande, pero si la colonia fragmentada reduce su talla será susceptible en cuanto a su sobrevivencia. Además a diferencia de la reproducción sexual que es cada año, la reproducción de tipo asexual está sujeta a fenómenos naturales (Lirman 2000).

Acropora palmata es un organismo colonial que presenta dos tipos de mortalidades. Mortalidad total (ausencia de tejido vivo sobre el esqueleto duro) y mortalidad parcial (reducción del área del tejido) (Hughes y Jackson 1980). Algunas de las causas de la mortalidad total son, una exposición prolongada al aire, flujos de agua dulce, sedimentación (Stoddart 1969). Mientras que las causas de mortalidad parcial son principalmente por competencia, depredación, enfermedades o síndromes (Buckner *et al.* 2001).

La rehabilitación de los arrecifes en donde domina esta especie se han basado principalmente en decretos de protección combinadas con trasplantes de fragmentos. El trasplante de fragmentos tiene beneficios, como el incremento en la cobertura de tejido vivo (si los fragmentos sobreviven), posible incremento de larvas de coral en la temporada de reproducción, recuperación de los microhábitats para diferentes especies, rehabilitación de áreas utilizadas por el turismo, recuperación de la rugosidad (García 2006). Sin embargo la rehabilitación utilizando fragmentos no provee de una riqueza en la diversidad genética de la especie, ya que éstos fragmentos corresponden a clones.

La restauración con éste tipo de técnica ha sido un reto ya que se debe considerar factores que influyen en la sobrevivencia de éstos, como la morfología del fragmento, el número de ramificaciones, la orientación (Soong 2003), la talla (Chilcoat 2004, Shafir *et al.* 2010), el sustrato (Lirman 2000), la siembra directa (Oviedo 2011) o en viveros (Shopmeyer 2012) y por supuesto las características propias del sitio (Shaish 2010). Ciertos corales como del genero *Acropora* se han utilizado para devolver una composición estructural por medio de fragmentos (Precht 2006). *A. grandis* y *A. muricata* en el océano Índico (Putchim, 2008), *A. formosa* en las Filipinas (Shaish 2010), *A. cervicornis* en el

Caribe en Florida y México (Chilcoat 2004, Shopmeyer 2012, SAGARPA 2014), *A. pulchra* en Taiwán (Soong 2003) y *A. palmata* en Florida, Colombia, Puerto Rico, México, Indonesia, Cuba entre otros.

La restauración utilizando fragmentos, provenientes de disturbios o por medio de cortes en México por citar algunos ejemplos se ha llevado a cabo en Veracruz, Xcalak por parte de la asociación Oceanus AC y la Red de Restauración de Arrecifes de Coral (Nava 2011); en Isla Paraíso en Cozumel (Muñoz-Chagín 1977), en el Parque Nacional de Cancún y Puerto Morelos, con apoyo de la instalación de viveros marinos con fragmentos de diversos corales, entre ellos *A. palmata* y *A. cervicornis* (SAGARPA 2014). A pesar de todos los esfuerzos de restauración, *Acropora palmata* no ha logrado una recuperación en el Caribe desde su declive (Quinn 2006, Rodríguez-Martínez *et al.* 2014). La obtención y crianza de reclutas sexuales (organismo producido sexualmente) podría ser una alternativa más para la restauración y aceleramiento en la recuperación de ésta especie ya que el aporte de colonias nuevas genera una mayor riqueza genética de la especie y por consiguiente una mayor probabilidad de sobrevivencia.

Antecedentes

La obtención de reclutas sexuales es una técnica que se ha utilizado hace relativamente poco (Guest 2010) y se basa en la recolecta masiva de gametos y posteriormente la aseguración de la fertilización, asentamiento y sobrevivencia de éstos. La crianza de reclutas sexuales se puede realizar *in situ* (Omori 2005, Quinn *et al.* 2006 Okamoto 2012, Kakaskasen *et al.* 2013) y *ex situ* para la producción de reclutas para el stock de organismos en acuarios con agua marina o artificial, investigación (Peterson 2001, 2008) y para proyectos de restauración. Desde el 2007 en las instalaciones del laboratorio de Fotobiología en la Unidad Académica de Sistemas Arrecifales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología en Puerto Morelos, la doctora Anastazia Banaszak inició investigaciones sobre el desove, la fertilización *ex situ* y crianza del coral *Acropora palmata* y desde 2011 inició un programa de obtención de reclutas sexuales de la misma especie con el objetivo de determinar la edad óptima de los reclutas sexuales para acciones de restauración. La técnica de obtención y crianza de los reclutas sexuales se ha ido mejorando con la ayuda reciente de instituciones como la fundación SECORE, INAPESCA y la empresa XCARET así como voluntarios y estudiantes.

Las técnicas se han especificado y mejorado según la especie (Barthelemy 2008, Guest 2014). Dentro del género *Acropora* se ha observado que las distintas especies se

comportan de diferente forma durante todo el procedimiento y en general en cuanto al tema de restauración la funcionalidad de un vivero marino ha sido de gran ayuda para asegurar la sobrevivencia tanto en estudios *in situ* y *ex situ* (Omori 2005, Shafir 2006).

La restauración mediante el uso de reclutas sexuales resulta en diversidad genética lo cual con el uso de fragmentos no (Epstein *et al.* 2001, Guest *et al.* 2014) y puede contribuir a la conservación de las especies (Lriman 2000, Oviedo 2011). La obtención de reclutas sexuales *ex situ* requiere de un trabajo laborioso mayor, cuidado en viveros terrestres, especialistas en asentamiento larval y es considerablemente más costoso (Villanueva 2012). Sin embargo los porcentajes de sobrevivencia han resultado altos (Omori *et al.* 2008, Villanueva 2012, Guest 2014), por lo que valdría la pena invertir en este tipo de técnicas. Guest *et al.* (2014) determinaron que producir en el mar un recluta sexual de 2.5 años trasplantado a los 19 meses, cuesta alrededor de \$60 USD mientras que reclutas trasplantados a los 7 y 14 meses cuestan alrededor de \$284 USD y \$217 USD, respectivamente. Estos costos se calcularon según las tasas de sobrevivencia, siendo la más alta los reclutas con estancia en el vivero durante 19 meses. Otro panorama muestra que la producción de juveniles de tan solo 10 meses puede costar \$163 USD (Nakamura 2011).

Con base a la literatura la relación entre la talla y la sobrevivencia de los reclutas sexuales, en alguno estudios se obtuvo una mayor sobrevivencia es en tallas pequeñas (Villanueva 2012) y en otros en tallas más grandes (Guest 2014). Sin embargo la talla en la mayoría de los casos varió con respecto al tipo de método e incluso a la especie.

Justificación

Ante la problemática que existe con los arrecifes de coral en el mundo y México, las acciones de restauración son inminentes. En el Caribe la restauración utilizando *Acropora palmata* con base en fragmentos no proporciona la diversidad genética que un ecosistema debe tener. Por ello el cultivo de reclutas sexuales y posterior trasplante para proyectos de restauración, contribuye al ecosistema aportes en la estructura coralina y funcionalidad dentro de él; lo cual se verá reflejado en mayor abundancia en diversidad de otras especies y un aprovechamiento directo e indirecto en los sectores económico y social. *Acropora palmata* es una especie prioritaria (NOM-059) por su característica biológicas y ecológicas dentro de los arrecifes, además de ser constructora de estos. A partir de la determinación de las sobrevivencias de reclutas sexuales de *A.palmata* se decidirá cuál es la edad óptima para que éstos sean utilizados en acciones de restauración en el Caribe Mexicano.

Hipótesis

Los reclutas sexuales, con más tiempo en cautiverio y mayor tamaño, tendrán mayor sobrevivencia en el vivero marino.

Objetivos

Objetivo General

Determinar la edad óptima para la introducción de reclutas sexuales de *Acropora palmata*, que fueron cultivados *ex situ*, a partir de su introducción a un vivero marino.

Objetivos Particulares

- Determinar la sobrevivencia de reclutas sexuales de diferentes edades de *Acropora palmata*, que fueron cultivados *ex situ*, a partir de su introducción a un vivero marino.
- Determinar la respuesta de los reclutas sexuales de *Acropora palmata* mediante la medición de parámetros biológicos durante los primeros meses de su introducción al vivero marino.
- Evaluar la influencia del tamaño en la sobrevivencia de los reclutas sexuales de tres diferentes edades: 2.8, 1.8 y 0.8 años.
- Identificar los posibles factores bióticos y abióticos que influyen en la sobrevivencia y mortandad de los reclutas sexuales para apoyar estudios futuros.

Área de estudio

Ubicación geográfica del vivero marino

El vivero se ubica en el sitio denominado “Las Cuevas” (N 20° 34' 58.6" O 087° 06' 34.1") (Figura 1) por estar enfrente de unas cuevas subterráneas que desembocan hacia el mar. También se le conoce como “Las Ruinas” por la presencia de ruinas mayas en la costa. El vivero se estableció en un arrecife tipo parche de *A. palmata* que pertenece al Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM) a 3.8 metros de profundidad, a menos de 1 km de distancia de la costa, cerca del arrecife “Barracuda”, enfrente de las instalaciones del Hotel Xcaret en el municipio Solidaridad, Playa del Carmen, Quintana Roo, México.

Características Físicas

El tipo de clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano, con un rango de precipitación de 1100-1500 mm (INEGI 2009). Por la naturaleza kárstica del continente y la escasez de suelos, el agua de lluvia se filtra a través de la roca calcárea hacia el acuífero, por lo que el drenaje es básicamente subterráneo de tierra al mar (Beltrán *et al.* 2011). El promedio anual de descarga de agua subterránea en la Península de Yucatán, por encima de los 20° de Latitud Norte, se ha estimado en 8.6 millones de m³ por km de costa al año (Back 1985).

Durante la mayor parte del tiempo el área se encuentra bajo la influencia de las masas de aire marítimo tropical que invaden la península transportadas por los vientos Alisios con velocidades promedio de 5 m/s (Merino y Otero 1991) y son interrumpidos por “nortes”, masas de aire continental polar, normalmente de octubre a mayo provocando chubascos. La costa de Quintana Roo se encuentra en la trayectoria de los huracanes que se forman en el Atlántico e ingresan al Caribe. La temporada de huracanes comprende de los meses de junio a noviembre, de los cuales agosto y septiembre son los meses de más alta incidencia (Beltrán 2011).

La corriente marina es de sur a norte con raras variaciones al suroeste. Según valores del año 2006 en el área oeste de Cozumel y sureste de playa del Carmen, el rango de velocidades de mayo a junio fue de 0.05 m/s hasta 0.04 m/s constante en la profundidad y 0.86 m/s de velocidad de la corriente que corre enfrente de Playa Aventuras hasta Puerto Morelos (UNIMAR 2014). El rango de altura que alcanzó el oleaje para el mismo año fue de 0.4 a 0.5 metros y los eventos de mayor oleaje correspondieron al mes de abril

y mayo provenientes del noreste con un valor máximo de potencia de 1.2 m²/Hz (olas de poco más de un metro de altura) (UNIMAR 2014) (Figura 2).



Figura 1. Ubicación Geográfica del vivero marino en el sitio “Las Cuevas”, Punta Venado y La Bocana; Quintana Roo, México (Google Earth 2014).

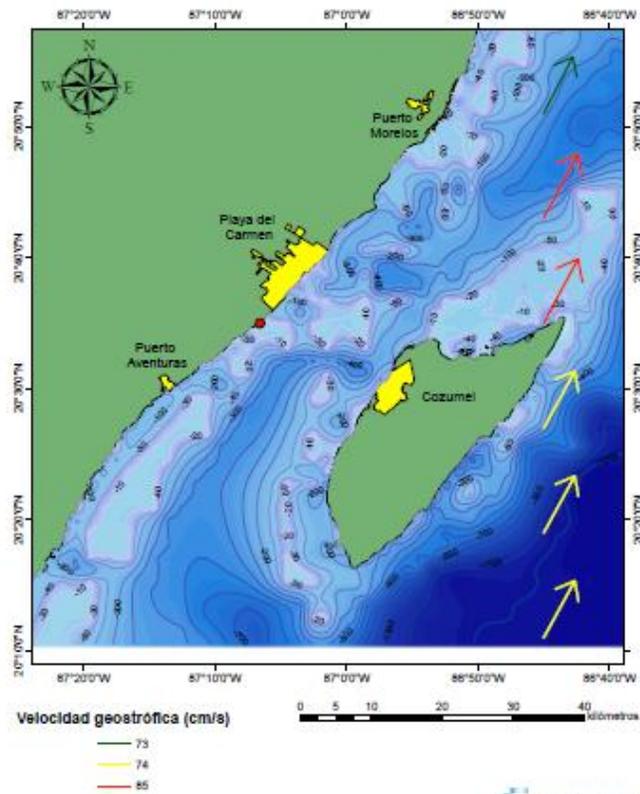


Figura 2. Las corrientes superficiales marinas alrededor del sitio “Las Cuevas” señalado con un punto rojo (UNIMAR 2014).

El parche arrecifal tiene relieve y pendientes suaves. Algunas especies de corales escleractineos observados para el sitio son *Acropora palmata*, *Diploria clivosa* y *Montastrea* sp. junto con algas filamentosas y calcáreas, esponjas, gorgónaceos y coral muerto (Jordan 1979).

Este sitio no pertenece a ningún parque nacional y hasta ahorita no tiene algún tipo de protección. Las principales actividades que se realizan cerca son pesca deportiva, buceo, “snorkeling” y paseos en” jet skis “y en lancha.

Material y Métodos

Desde el año 2007 se inició el proyecto de producción y crianza de reclutas sexuales. Este trabajo contribuye con la participación en la ubicación de los reclutas sexuales obtenidos en los años 2011, 2012 y 2013.

Obtención de gametos, fertilización, asentamiento e infección con simbiotes

La colecta de gametos de *A. palmata* se realizó en los desoves en La Bocana Chica, en el mes de agosto en los años 2011, 2012 y 2013 (Figura 1). Los gametos se recolectaron de colonias previamente identificadas y conocidas genéticamente con redes de colecta (Figura 3). Todos los gametos se mezclaron y el proceso de la fertilización se llevó a cabo *ex situ* en baldes de plástico durante el traslado al laboratorio, menos en el caso de los reclutas del 2013 que se llevó a cabo la fertilización en el laboratorio, casi una hora después de la recolecta de los gametos debido al mal tiempo. Al término de la fertilización, el agua de mar con los individuos en proceso de gametogénesis se limpió con agua marina filtrada para remover depredadores y espermias (Figura 3). Posteriormente se colocaron los embriones en incubadoras con agua de mar filtrada para que se completara la fase larval. Siete días después de la fertilización las larvas se vertieron en tinas con sustratos de concreto para inducir el asentamiento y metamorfosis de la larva plánula a pólipos. Después del asentamiento, los pólipos se inocularon con *Symbiodinium fitti* extraídos de colonias adultas de la Bocana Chica. Para determinar el

éxito de la infección se observó al estereoscopio la coloración café típica de los simbiontes en el tejido del pólipo. Posteriormente los pólipos asentados en sustratos fueron llevados a la granja de coral del Acuario del Eco Parque Xcaret para su cuidado hasta su uso en este proyecto.

a)



b)



Figura 3. Captura de desove de *A. palmata* 2013 en La Bocana utilizando una red de colecta (a) y remoción de depredadores y espermas (b) (Fotos: Paul Selvaggio).

Mantenimiento de los reclutas sexuales

Antes de la introducción al mar, los reclutas sexuales estuvieron en la granja de corales (Figura 4) ubicado en un área destinada de la azotea del Acuario del Eco Parque Xcaret con techo de domo de policarbonato transparente el cuál impedía la radiación directa de la radiación solar. Los reclutas estuvieron colocados sobre plataformas de PVC (Figura 4) dentro de tinas de material de fibra de vidrio con capacidad de 2,400 litros. Las tinas están instaladas en un sistema abierto que consiste en la entrada directa de agua del mar pasando por cuatro tubos de 300 m de longitud desde la costa hacia el mar. Estos tubos por la fuerza de gravedad llegan a un cárcamo principal dónde el agua es bombeada hacia un distribuidor que retiene el sedimento más grueso y reparte el agua a la granja de corales. Por lo que las tinas tienen 100% de recambio de agua cada 30 minutos con movimiento de agua constante generado por dos bombas de aire Astro® (60 Hz 4 W) que proveen de aireación. En la fuente de entrada de agua a la tina se colocó un filtro de polipropileno de 100 µm para retener el sedimento de tamaño más fino.



Figura 4. Tinas de la granja de corales (izquierda) y reclutas sexuales en plataformas de PVC (derecha).

Las características físicas y químicas del agua de la granja de corales se obtuvieron a partir de la base de datos del Laboratorio de Química Marina del Acuario de Xcaret y la información correspondiente a la precipitación se obtuvo a partir de la base histórica de The Weather Channel, LL.C. La radiación solar se obtuvo a partir de un sensor medidor de PAR (Odyssey) el día 23 de marzo de 2014 de 06:00 h a 18:00 h, colocándolo en una

de las tinas en medio de las dos mesas en dónde se hallaban los reclutas sexuales. La medición se hizo cada segundo durante 12 horas.

El plan alimenticio para los reclutas sexuales de las tres diferentes edades se basó en animales vivos (nauplio de *Artemia salina* y rotífero) y suplementos comerciales. La alimentación fue diaria después de las 18:00 hrs deteniendo el flujo de agua durante 5 h aproximadamente para asegurar el consumo por parte de los reclutas y la fijación de los suplementos (Tabla 1).

Tabla 1. Descripción del tipo de alimento, cantidad y periodicidad.

| TIPO DE ALIMENTO | INFORMACIÓN NUTRICIONAL | CARACTERÍSTICAS | PERIODICIDAD | CANTIDAD SUMINISTRADA POR 5 L |
|----------------------------------|---|--|--------------|-------------------------------|
| Micro- Vert® | vitaminas, minerales y proteínas | alimento balanceado especial para organismos filtradores | diario | 5 ml |
| Iodine® | yodo | | diario | 5 ml |
| Koralle-VM™ | agua purificada y moléculas altamente purificadas | enriquece el agua de sistemas artificiales | diario | 5 ml |
| Coral Amino™ | aminoácidos | Acelera la tasa de crecimiento y recuperación de tejido vivo | diario | 5 ml |
| Nauplio de Artemia salina | proteína | alimento vivo | diario | 5 mg |
| Rotífero | proteína | alimento vivo | casi diario | sin calculo |

La limpieza de las bases, tinas y de los mismos reclutas sexuales se realizó una vez por semana. La limpieza se realizó usando cepillos de dientes de cerdas duras para remover algas calcáreas, pinceles de cerdas suaves para limpiar alga filamentosa sobre tejido coralino y sedimento fino, bisturí para eliminar invertebrados adheridos en el tejido del coral o en la periferia.

Descripción de los reclutas sexuales de Acropora palmata

Los reclutas sexuales de *Acropora palmata* tienen una forma que se asemeja a una figura geométrica de elipse. Los reclutas que se introdujeron al mar difieren en edad; doce reclutas de 2.8 años con promedio de área basal de 287.53 cm^2 ($\text{SD} \pm 140.8$) y cuatro ramas en promedio; dieciocho reclutas de 1.8 años de 37.9 cm^2 ($\text{SD} \pm 28.7$) área basal en promedio sin ramas y catorce reclutas de 0.8 años de aproximadamente 1 cm^2 . El cálculo del área basal fue a partir del área de una elipse ($\text{Pi} \cdot r \cdot s$), considerando las medidas del diámetro mayor y diámetro inferior del recluta (Rogers *et al.* 1982).

Para fines prácticos en el análisis de los resultados a los reclutas sexuales de cada edad se les nombrará por el año de su nacimiento. Por lo que los reclutas de 2011 hacen referencia a los de 2.8 años de edad; los de 2012 a los de 1.8 años de edad y los de 2013 a los de 0.8 años de edad. Los reclutas 2013 se diferenciaron por su procedencia, "UNAM" y "Xcaret". La estancia antes de su introducción al vivero marino de 8 reclutas sexuales fue en las instalaciones del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología campus Puerto Morelos, UNAM. Los 6 reclutas sexuales restantes estuvieron en la granja de corales del Ecoparque Xcaret. Los reclutas 2013 provenientes del campus UNAM llegaron a las instalaciones de la granja de corales 7 días antes de su traslado al vivero marino.



Figura 5. Plataformas de concreto adheridas al suelo conformando el vivero marino.

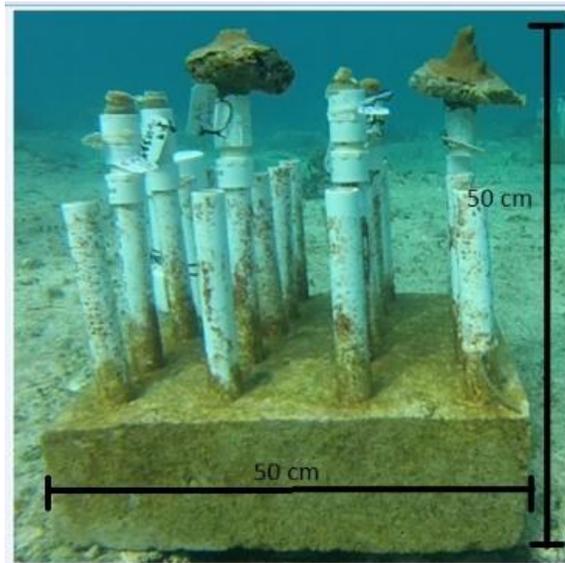


Figura 6. Plataforma de concreto del vivero marino mostrando sus dimensiones

Descripción del vivero marino

El vivero marino consiste en seis plataformas de concreto (50 cm por 20 cm de alto) adheridas al suelo con ayuda de varillas y pegamento epóxico (Figura 5). Cada plataforma tiene 20 tubos de PVC hidráulico de 20 cm de altura por 0.03 m de diámetro. Cada tubo tiene un adaptador despegable (sistema de dos piezas de PVC hidráulicas) que sostiene el sustrato en donde el recluta sexual se embona (Figura 6). Las plataformas se encuentran separadas 1.5 metros una de otra. Considerando las medidas anteriores los reclutas sexuales están ubicados a 3.3 metros de profundidad.

Traslado y acomodo de los reclutas sexuales en el vivero marino

El traslado de los reclutas sexuales de la granja de corales al vivero marino fue el 10 de Abril de 2014 a las 07:00 h con ayuda de la embarcación de la empresa Xcaret en una tina de fibra de vidrio de 1000 L. Se colocó una "malla sombra" encima de la tina para evitar la radiación solar directa. A la llegada del sitio, durante el anclaje y preparación por parte del equipo de buceo, se realizó una aclimatación, vertiendo agua del mar en la tina para homogeneizar la temperatura. El tiempo de traslado fue aproximadamente de 20 min.

En cada plataforma del vivero marino se colocaron de manera aleatoria 2 reclutas sexuales de *A. palmata* de 2011, 3 de 2012 y 2 ó 3 de 2013. El acomodo final quedó de la siguiente manera: 7 reclutas en 4 plataformas y 8 reclutas en 2 plataformas con un total de 44 reclutas sexuales. A cada recluta se le designó una clave de reconocimiento (Figura

7). Para diferenciar la procedencia se utilizó la inicial “U” para referirse a los reclutas sexuales provenientes de las instalaciones de la UNAM.

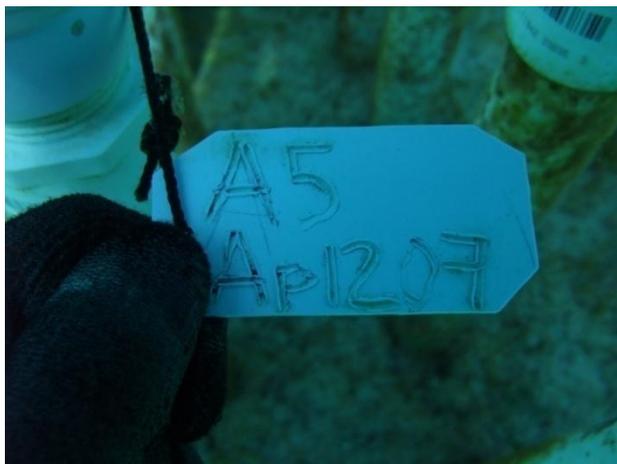


Figura 7. Ejemplo de clave de reconocimiento para un recluta sexual de *A. palmata*

Monitoreo

El monitoreo se dividió en dos: 1) Monitoreo de parámetros ambientales, como parámetros fisicoquímicos del agua, radiación fotosintética, tasa de sedimentación, visibilidad y parámetros biológicos. 2) Monitoreo biológico, que consiste en la medición de la sobrevivencia, mortandad, mortalidad parcial, recuperación de tejido vivo y crecimiento de los reclutas sexuales (Figura 8).

Durante el monitoreo se realizaron 21 visitas al vivero marino a lo largo de 75 días durante los meses de abril, mayo y junio de 2014 entre las 07:00 y 11:00 h (Tabla 2). La periodicidad de las salidas estuvo sujeta al estado de tiempo y a la disposición de la embarcación del Acuario del Eco Parque Xcaret.

Tabla 2. Número de salidas y fechas por mes durante el Monitoreo

| MES | NO. DE SALIDAS | Visitas CORRESPONDIENTES | FECHAS |
|--------------|----------------|--------------------------|------------------------------|
| abril | 9 | 1 al 9 | 10,11,15,16,17,18,21,22 y 24 |
| mayo | 7 | 10 al 16 | 6,8,9,13,14,20y 28 |
| junio | 5 | 17 al 21 | 4,6,12,17 y 24 |
| TOTAL | 21 | | |



Figura 8. Ejemplo de actividades en el vivero. Anotaciones en tabla de acrílico (izquierda) y limpieza de los reclutas sexuales con ayuda de un pincel (derecha).

Monitoreo de parámetros ambientales

Sedimentación

Para obtener la sedimentación se recolectó en 4 ocasiones el sedimento acumulado en una “trampa de sedimento” durante 75 días (Tabla 3). A partir de ése datos se calculó la tasa de sedimento.

La trampa de sedimento consiste en un tubo de PVC de 21 cm de largo por 7.5 cm de diámetro. Esta se colocó amarrada con cuerda nylon en un tubo de la plataforma “F” (Figura 9)

Tabla 3. Número de días por período de estancia de la trampa de sedimento.

| Número de recolecta | PERIODO | No DE DIAS |
|---------------------|--------------------------|------------|
| 1 | 10/04/2014 al 6/05/2014 | 27 |
| 2 | 6/05/2014 al 28/05/2014 | 23 |
| 3 | 28/05/2014 al 12/06/2014 | 16 |
| 4 | 12/06/2014 al 24/06/2014 | 13 |



Figura 9. Trampa de sedimento colocada en la plataforma “F” (izquierda) y sensor de Luz colocado en la plataforma “D” (derecha) en el vivero marino.

La obtención del peso del sedimento se realizó según la metodología de Rogers *et al.* (1994) en el laboratorio de Química Marina del Acuario del Eco Parque Xcaret. Se obtuvo la tasa de sedimentación mediante la siguiente ecuación:

$$tasa\ de\ sedimentación = \frac{Peso\ del\ sedimento}{No.de\ días \times \pi r^2}$$

Temperatura, Salinidad y Oxígeno Disuelto

La toma de parámetros se hizo entre las 07:00 y 08:00h con ayuda de una sonda YSI, modelo: 600R-BCR-C-T-PH/ORP-DU colocada sobre el vivero marino a una profundidad de 3.3 metros. El total de registros fue 20.

Nutrientes (nitratos, nitritos, fosfatos y amonio)

La obtención de la concentración de nutrientes fue a partir de muestras de agua de 450 ml. Se analizaron las concentraciones de nutrientes con el método espectrofotométrico para la determinación de nitrógeno de nitritos y nitratos en un intervalo de 0.01 a 1 mg/l; para el contenido de fósforo total en un intervalo de 0.01 mg P/L a 6.0 mg P/L; según el protocolo de la NOM-001-ECOL-1996. Se obtuvieron un total de 15 registros, 8 registros

para el mes de abril, 3 registros para el mes de mayo y 4 para el mes de junio del año 2014.

Radiación fotosintética activa (PAR)

Los datos se obtuvieron a partir de la colocación de un sensor plano Odyssey Z412 en la plataforma “D” del vivero marino a una profundidad de 3.3 m (Figura 9), que mide en el rango de longitud de onda de 400 a 700 nm; en un período de las 08:00 a 10:00h. Las unidades en las que mide el sensor son micromoles de fotones por metro cuadrado por segundo ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Se calculó el promedio para cada día monitoreado obteniendo 17 muestras (Tabla 4).

Tabla 4. Número de salidas y fechas por mes correspondientes al muestreo de radiación solar.

| MES | NO. DE SALIDAS | FECHAS |
|--------------|----------------|---------------------------|
| abril | 8 | 10,11,15,16,17,18,21 y 22 |
| mayo | 5 | 8,9,13,14 y 20 |
| junio | 4 | 4,12,17 y 24 |
| TOTAL | 17 | |

Visibilidad

Para obtener los datos de visibilidad en el agua se marcó una distancia de 6 metros horizontales estableciendo 3 puntos, plataforma “C”, como el punto de referencia (0 m), plataforma “F” a 1.5 m, como segundo punto y una colonia de *Acropora palmata* (0.8 m de ancho por 3 m de altura) como el tercer punto. Entre el segundo y tercer punto se calculó la mitad de la distancia (3.75 m). El observador se colocó en el punto de referencia, dirigió la mirada hacia el tercer punto y registró el punto observable. Cuando el segundo punto era observable pero el tercero no; se decidió usar la mitad de la distancia entre ambos puntos a falta de un punto de referencia entre dichos puntos. El número de datos correspondió al número de salidas (21).

Parámetros Biológicos

Se realizaron 19 censos de la fauna marina del vivero marino con apoyo de una guía de identificación de especies marinas (Humann 1993). Los “censos estacionarios” (metodología modificada de Rogers *et al.* 1994) consistieron en observaciones durante 2

min de cada plataforma, con un total de 12 min. Se identificaron, contaron y describieron el comportamiento de los organismos que interactuaban de alguna manera con los reclutas sexuales.

Monitoreo Biológico

Durante el monitoreo de los reclutas sexuales en el vivero marino se utilizaron fotografías tomadas con una cámara fotográfica digital Fujifilm F100 (zoom óptico 5X) con las funciones de exposición manual y macro para llevar un registro de cada recluta sexual.

Medición de la sobrevivencia

Este monitoreo consiste en la observación de la sobrevivencia de cada recluta sexual durante 75 días en los meses de abril, mayo y junio del 2014. Se consideró un recluta muerto cuando se observó el 100% de aclaramiento sin pólipos expuestos o 100% de área muerta ó asentamiento de alga o sedimento.

Medición mortalidad parcial y recuperación de tejido vivo

La medición de la mortalidad parcial se determinó con base al conteo de reclutas con presencia de daño o pérdida de tejido vivo. Se realizó una primera evaluación comparando el monitoreo del 3 de Abril con el de 17 de Abril de 2014 para evidenciar la presencia de heridas. Durante cada visita se observó a cada recluta y se registró el tipo de daño que pudiesen tener.

Para determinar la recuperación de tejido vivo se realizó: 1) Observación y descripción de heridas que presentaban los reclutas a partir del 17/04/14 y en las siguientes fechas: 21/04/14, 8/05/14 y 28/05/14; 2) seguimiento de las heridas, describiendo la recuperación de tejido vivo y reportando la fecha durante los 75 días del monitoreo. Si el recluta presentaba más de una herida, la selección de la herida a la cual se le dio seguimiento fue la de mayor tamaño, siempre y cuando fuera mayor a 1 cm².

Medición del crecimiento

El crecimiento se calculó a partir del promedio de la diferencia de talla de cada recluta ($t = t_1 - t_0$), en dónde la talla inicial (t_0) fue la que se midió un día antes de la introducción de los reclutas al vivero marino y la talla final es la que se midió después de 75 días de monitoreo (t_1). A partir del promedio de crecimiento se obtuvo la tasa de crecimiento ($t_c = t / 75$) por día. El cálculo de la talla fue a partir del cálculo del área, descrito en la sección 1 del Método: "Descripción del recluta sexual".

Análisis estadísticos

Se utilizó el programa de Statistics para realizar el análisis estadístico

Tabla 5. Pruebas estadísticas por planteamiento.

| Planteamiento del Problema | Prueba estadística |
|--|--|
| ¿Qué categoría tuvo el mayor porcentaje de sobrevivencia? | Prueba de Chi ² |
| ¿Cuál es la principal causa de mortalidad parcial de los reclutas en el vivero marino? | Prueba de Chi ² |
| ¿Cuál es la principal causa de mortalidad parcial dentro de cada categoría? | Prueba de Chi ² |
| ¿Qué categoría tiene la mayor tasa de crecimiento? | Prueba t para dos grupos con muestras independientes |
| ¿Qué categoría tiene el mayor crecimiento? | Prueba t para dos grupos con muestras independientes |
| ¿Existe crecimiento en la talla de los reclutas después de 75 días de estancia en el vivero? | Prueba t para dos grupos con muestras relacionadas |
| ¿Existe una relación de recuperación con la talla de los reclutas, tipo de herida con tipo de recuperación? | Correlación |
| ¿Los parámetros ambientales son las mismas en el mes de abril en la granja de corales y en el vivero marino? | Prueba t para dos grupos con muestras independientes |

Plan de Manejo de los reclutas

A partir de las características ambientales del sitio, principalmente el de corriente y biodiversidad se estableció un plan de manejo de los reclutas. El plan de manejo consistió en la observación del crecimiento algal y cobertura por sedimento cerca de cada recluta; remoción de sedimento, alga u otro organismo cerca del recluta con ayuda de instrumentos de limpieza como pincel y cepillo de dientes (limpieza) y finalmente el cálculo estimado de la periodicidad de la remoción durante el tiempo de monitoreo en los meses de abril, mayo y junio 2014. Se aprovechó la repartición de los reclutas en las seis plataformas para crear grupos. Durante los monitoreos 1 al 6 los reclutas de los tres grupos se les aplicaron limpieza. Del monitoreo 7 al 15, se observó el crecimiento algal

del: Grupo 3 al cual no se le aplicó limpieza, Grupo 2 con una limpieza cada dos monitoreos y al Grupo 1 limpieza cada monitoreo. Del monitoreo 16 al 21 de junio se decidió adoptar el plan de limpieza del Grupo 2 para todos los reclutas, es decir la limpieza se realizaría cada dos monitoreos (Tabla 6).

Tabla 6. Plan de manejo por grupo

| No de monitro reo | FECHA | GRUPO 1 | GRUPO 2 | GRUPO 3 |
|--------------------------|--------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | 10.04.14 | Limpieza | Limpieza | Limpieza |
| 2 | 11.04.14 | Limpieza | Limpieza | Limpieza |
| 3 | 15.04.14 | Limpieza | Limpieza | Limpieza |
| 4 | 16.04.14 | Limpieza | Limpieza | Limpieza |
| 5 | 17.04.14 | Limpieza | Limpieza | Limpieza |
| 6 | 18.04.14 | Limpieza | Limpieza | Limpieza |
| 7 | 21.04.14 | Limpieza | | |
| 8 | 22.04.14 | Limpieza | Limpieza | |
| 9 | 24.04.14 | Limpieza | | |
| 10 | 6.05.14 | Limpieza | Limpieza | |
| 11 | 8.05.04 | Limpieza | | |
| 12 | 9.05.14 | Limpieza | Limpieza | |
| 13 | 13.05.14 | Limpieza | | |
| 14 | 14.05.14 | Limpieza | Limpieza | |
| 15 | 20.05.14 | Limpieza | | |
| 16 | 28.05.14 | Limpieza | Limpieza | Limpieza |
| 17 | 4.06.14 | | | |
| 18 | 6.06.14 | Limpieza | Limpieza | Limpieza |
| 19 | 12.06.14 | | | |
| 20 | 17.06.14 | Limpieza | Limpieza | Limpieza |
| 21 | 24.06.14 | | | |

Resultados

Resultados del monitoreo de parámetros ambientales

La salinidad del agua de la granja de corales se mantuvo en un rango de 35.5 y 36.7 ppt, mientras que en el vivero el rango fue entre 35.7 y 36.5, con un promedio de 36.02 (SD±0.173) (Figura 10). La temperatura se comportó de manera estacional con un rango de temperatura en la granja de 25.7 y 27.7 °C y entre 26 y 28 °C en el vivero marino (Figura 11). El oxígeno disuelto mantuvo valores entre 3.6 y 9 mg/l en la granja y entre 6.15 y 12.3 mg/l en el vivero (Figura 12). La concentración promedio de los nutrientes (miligramos /litro) varió según el lugar de muestra y la fecha. Durante el monitoreo en la granja el amonio mantuvo concentraciones mayores a diferencia del nitrato y nitrito. La concentración de fosfato se mantuvo bajo con respecto a las anteriores. De igual forma la concentración de amonio se mantuvo por arriba con respecto a la concentración de nitrito, amonio y fosfatos en el vivero marino (Figuras 13 a 16). Se compararon las medias de los parámetros anteriores de los primeros días del mes de abril en la granja de corales y en el vivero marino, sin encontrar diferencias.

La tasa de sedimentación para el período del 10 de abril al 24 de junio de 2014 fue de 0.0024 g/ cm² por día. La trampa de sedimento tenía la característica de recolectar tanto el sedimento removido del suelo por turbulencia del agua o aquellos sedimentos suspendidos en el agua. El 42.9% de los monitoreos se reportaron con una visibilidad horizontal mayor a los 6 m de distancia, el 14.3% con una visibilidad máxima del 1.75 m de distancia y 42.9% con una visibilidad máxima de 3.75 m de distancia (Figura 17).

Se obtuvo que a lo largo del día 23 de marzo el promedio de radiación solar fue de 610.9 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (SD±491), con valores mínimos y máximos de 58 y 1147 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ respectivamente (Figura16). Durante el monitoreo de 75 días en el vivero marino se registró un rango entre 260 y 814 (SD±169.4) $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ de radiación solar, éste último valor y 797.4 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (SD±187.1), en las fechas 10/04/14 y 17/06/2014 respectivamente fueron los valores más altos de radiación solar. Las cantidades promedio menor de luz, 411.2 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (SD±178.3) y 259.9 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (SD±112.1), se reportaron en las fechas 22/04/2014 y 4/06/2014 (Figura 18).

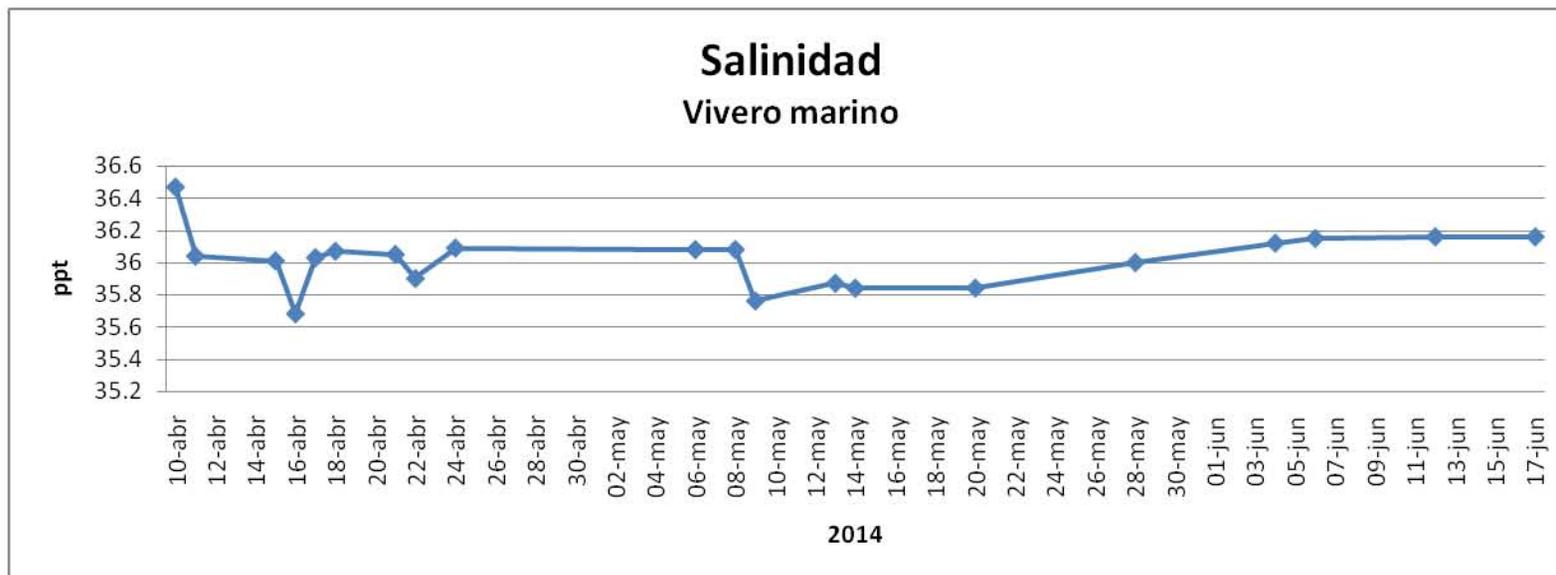
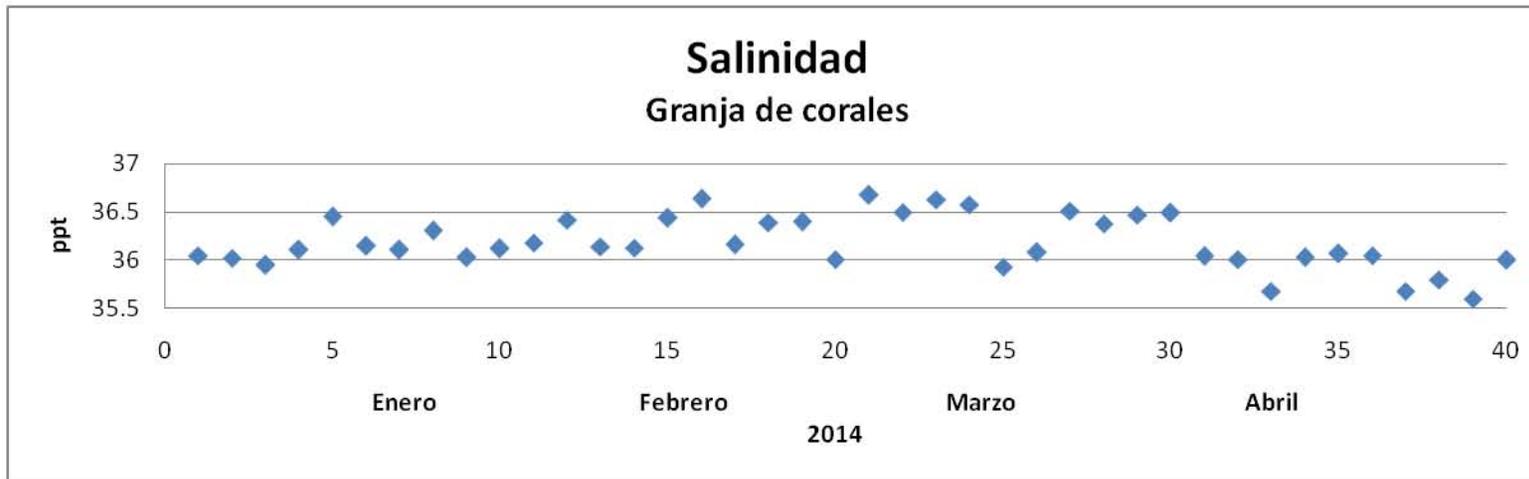


Figura 10. Salinidad reportada en la granja de corales (arriba) y en el vivero marino (abajo).

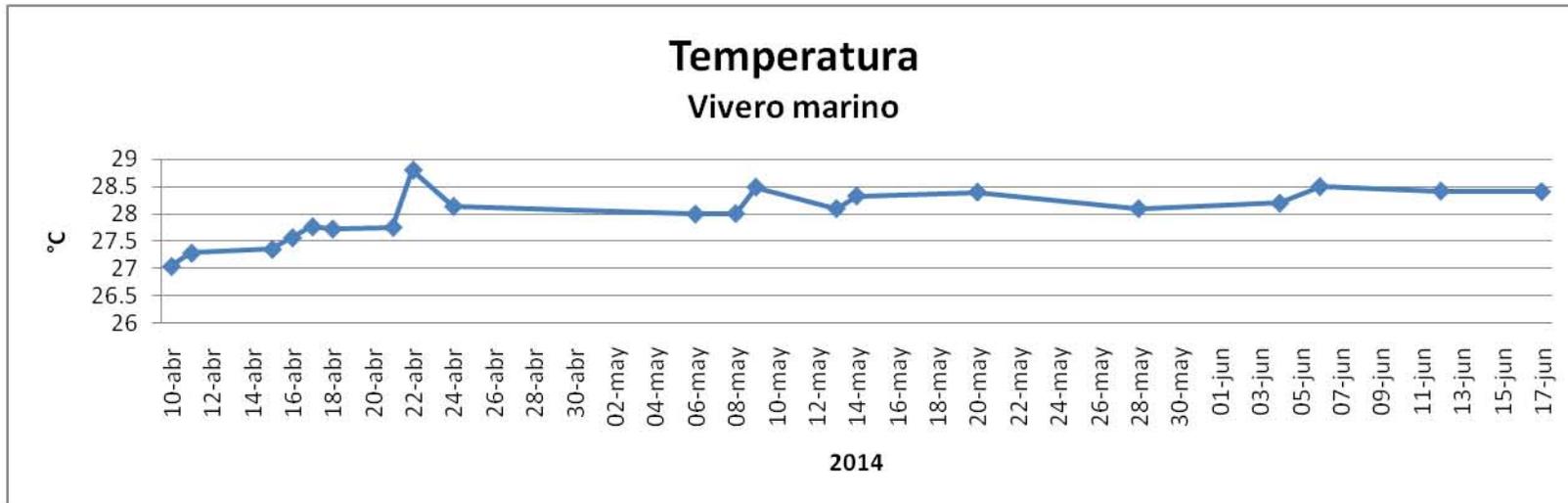
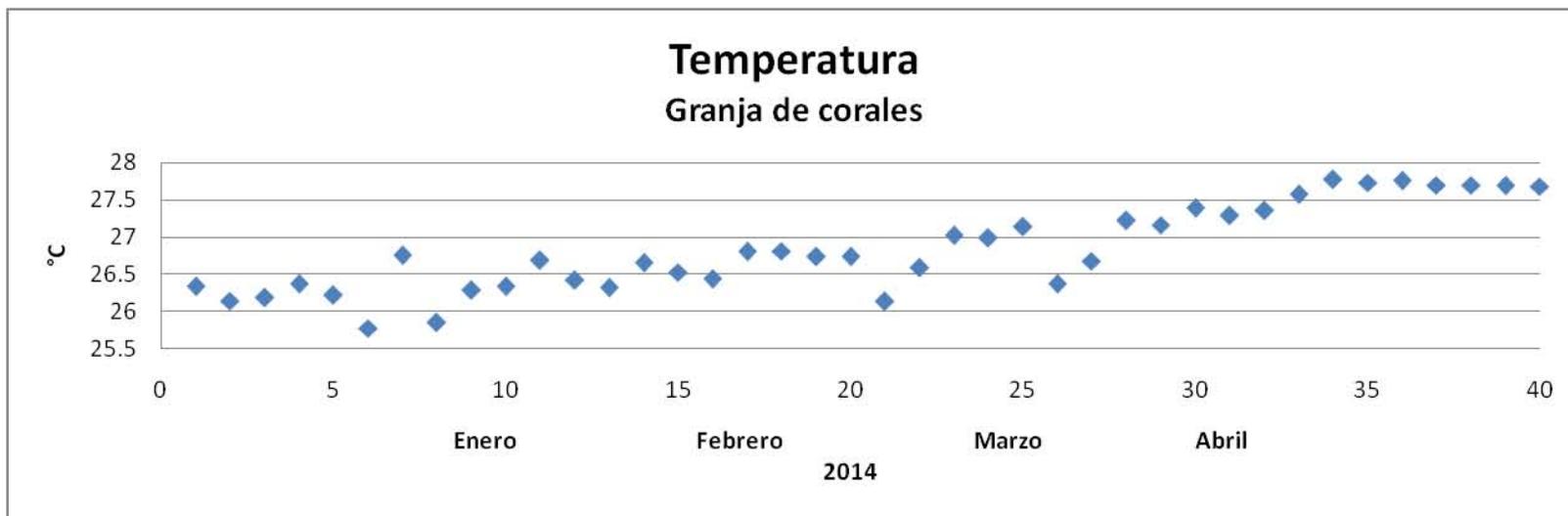


Figura 11. Temperatura reportada en la granja de corales (arriba) y en el vivero marino (abajo).

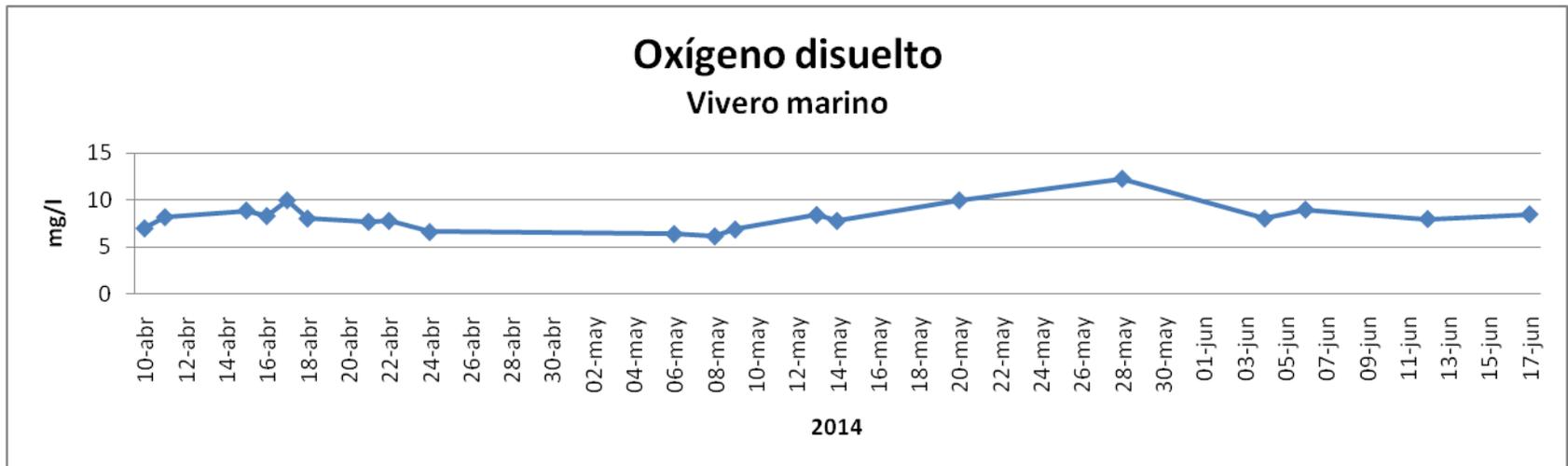
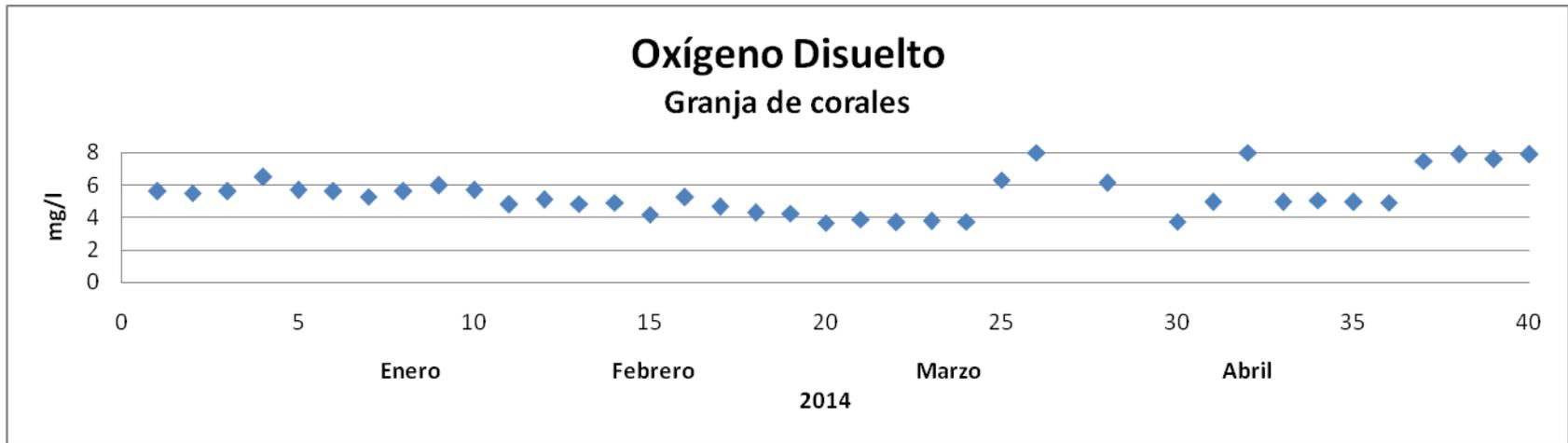


Figura 12. Oxígeno disuelto reportado en la granja de corales (arriba) y en el vivero marino (abajo).

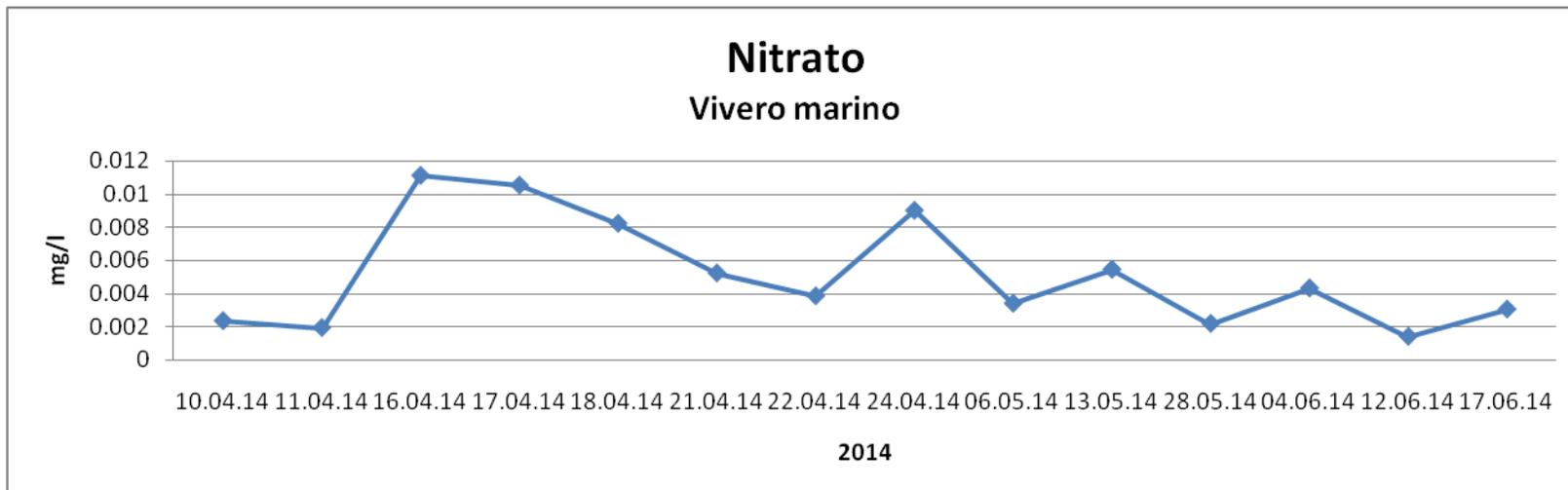
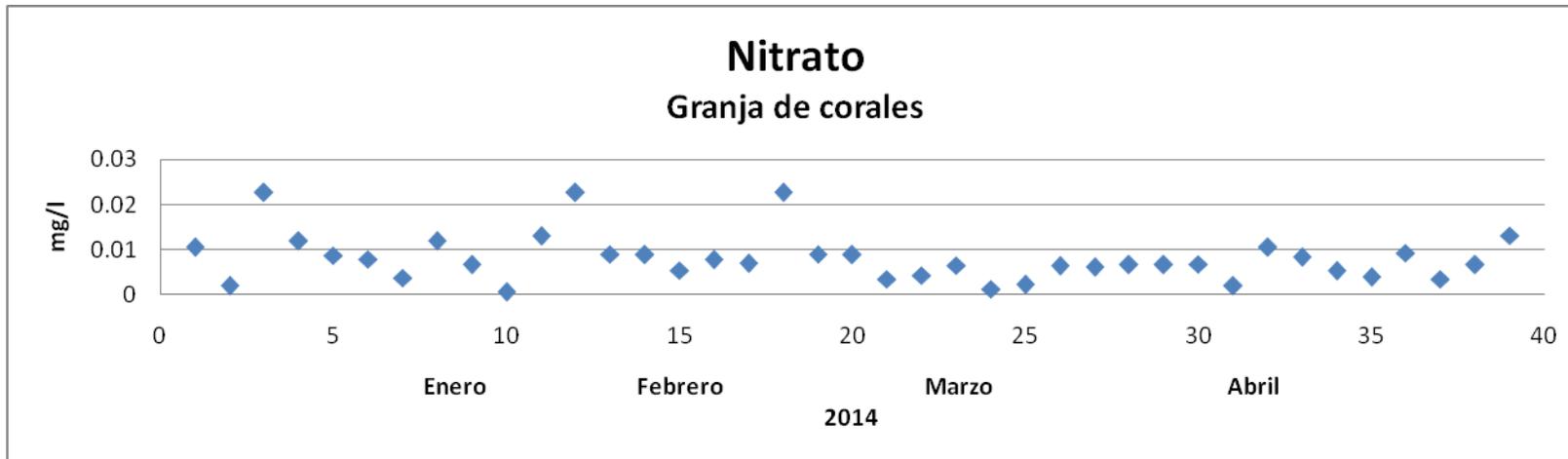


Figura 13. Concentración de nitrato reportada en la granja de corales (arriba) y en el vivero marino (abajo).

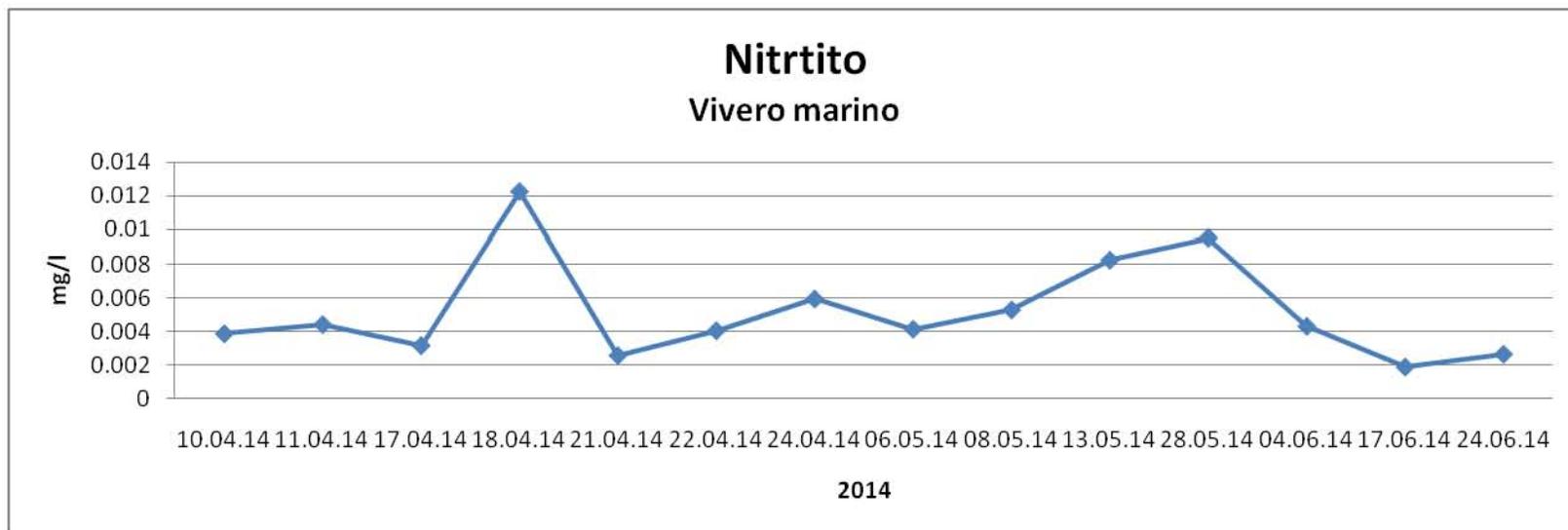
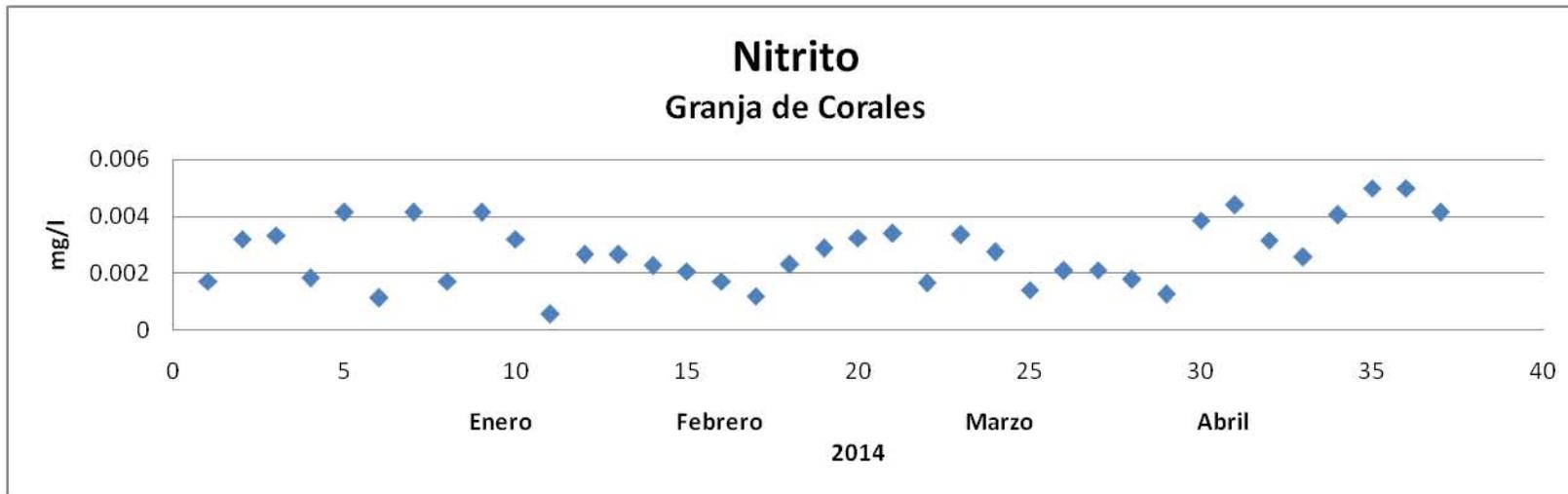


Figura 14. Concentración de nitrito reportada en la granja de corales (arriba) y en el vivero marino (abajo).

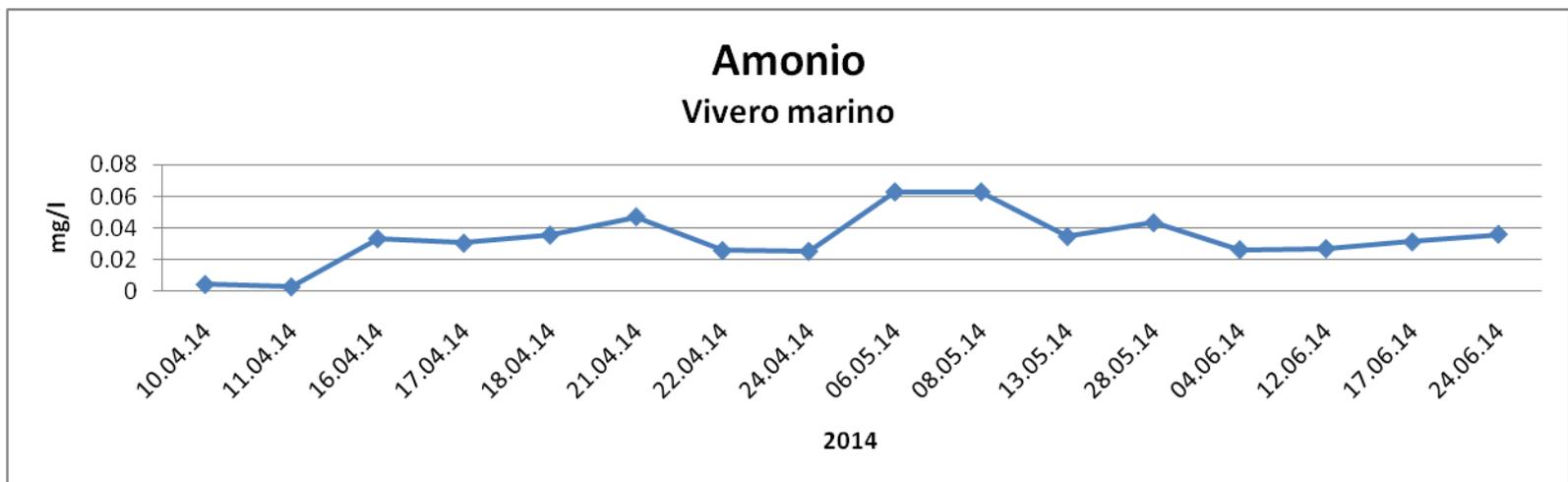
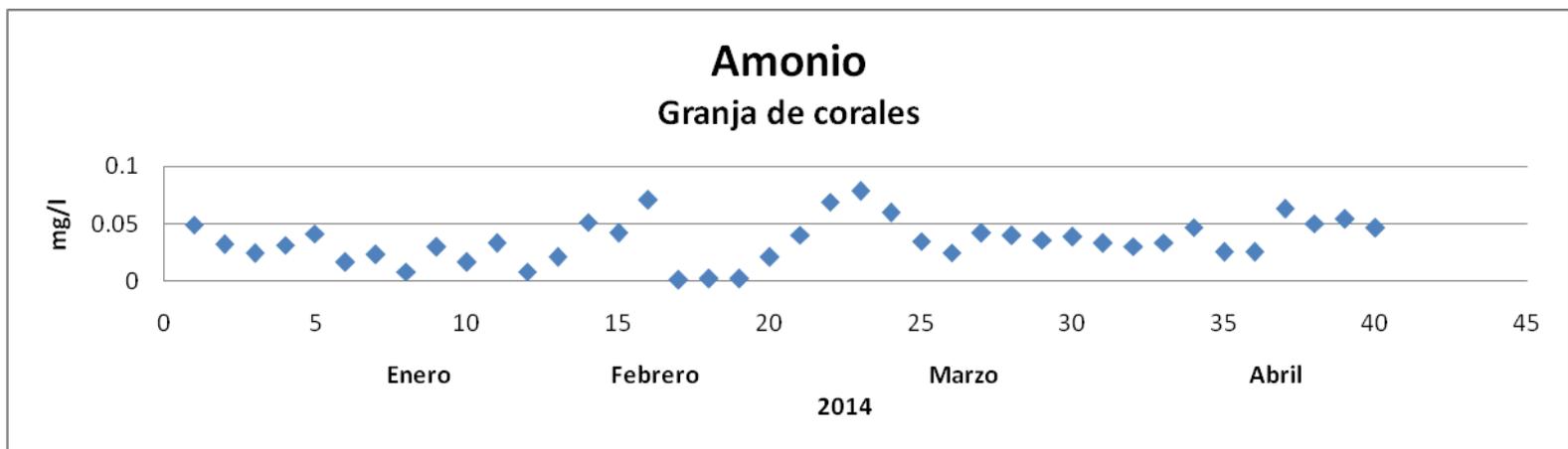


Figura 15. Concentración de amonio reportada en la granja de corales (arriba) y en el vivero marino (abajo).

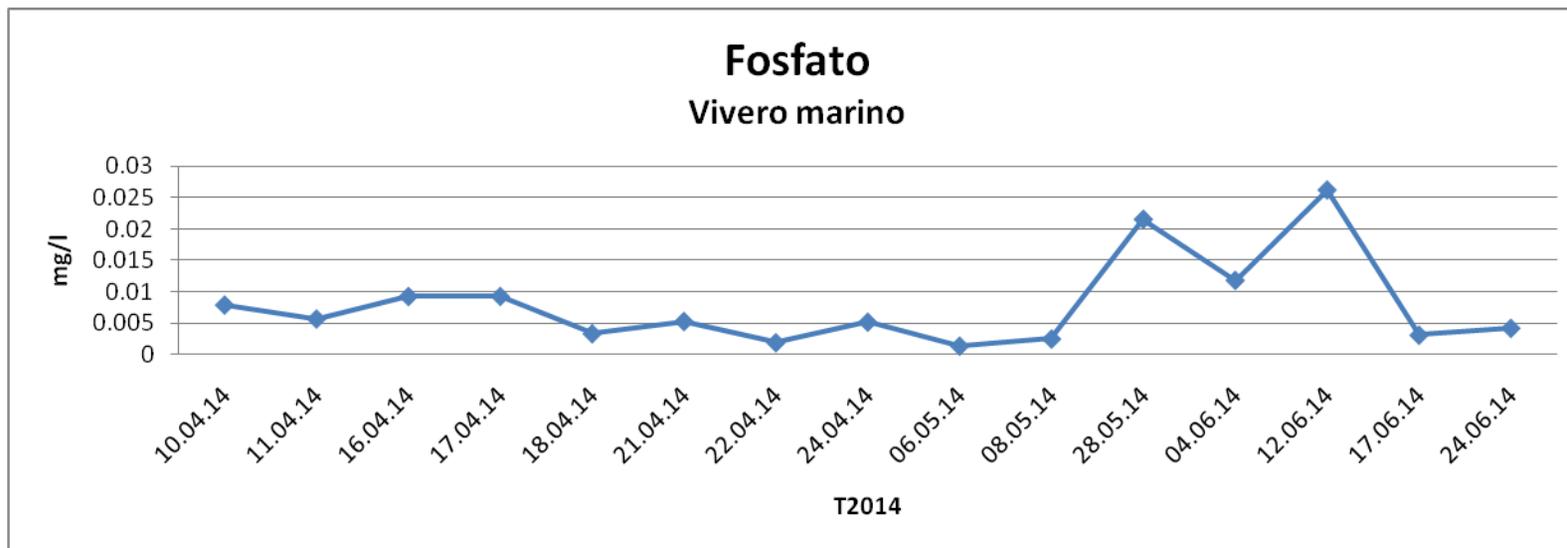
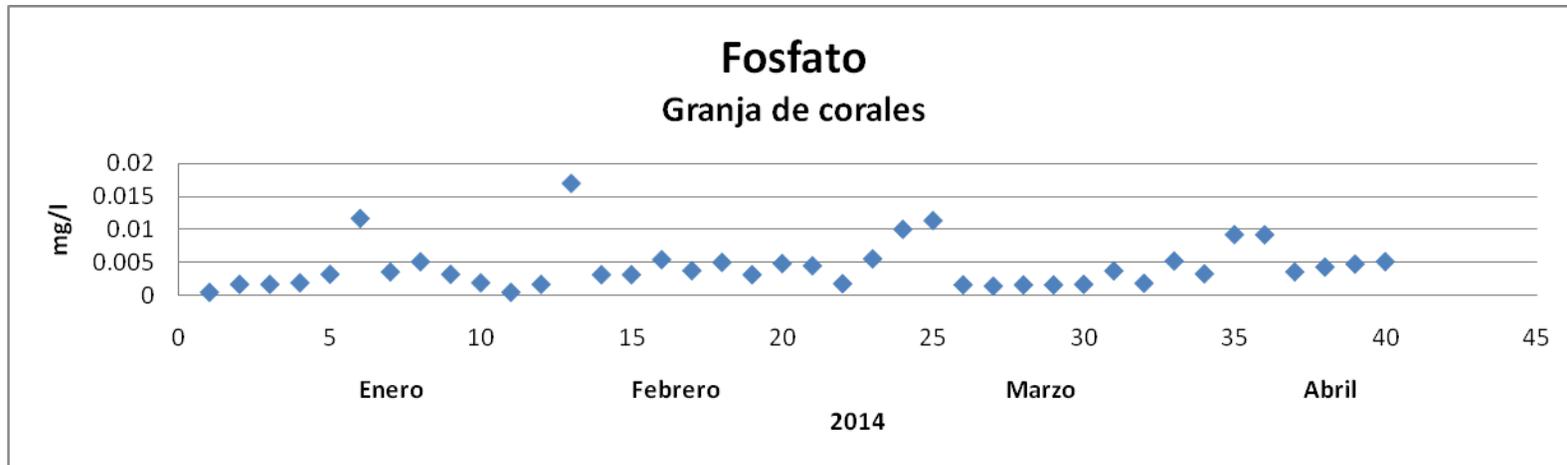


Figura 16. Concentración de fosfatos reportada en la granja de corales (arriba) y en el vivero marino (abajo)

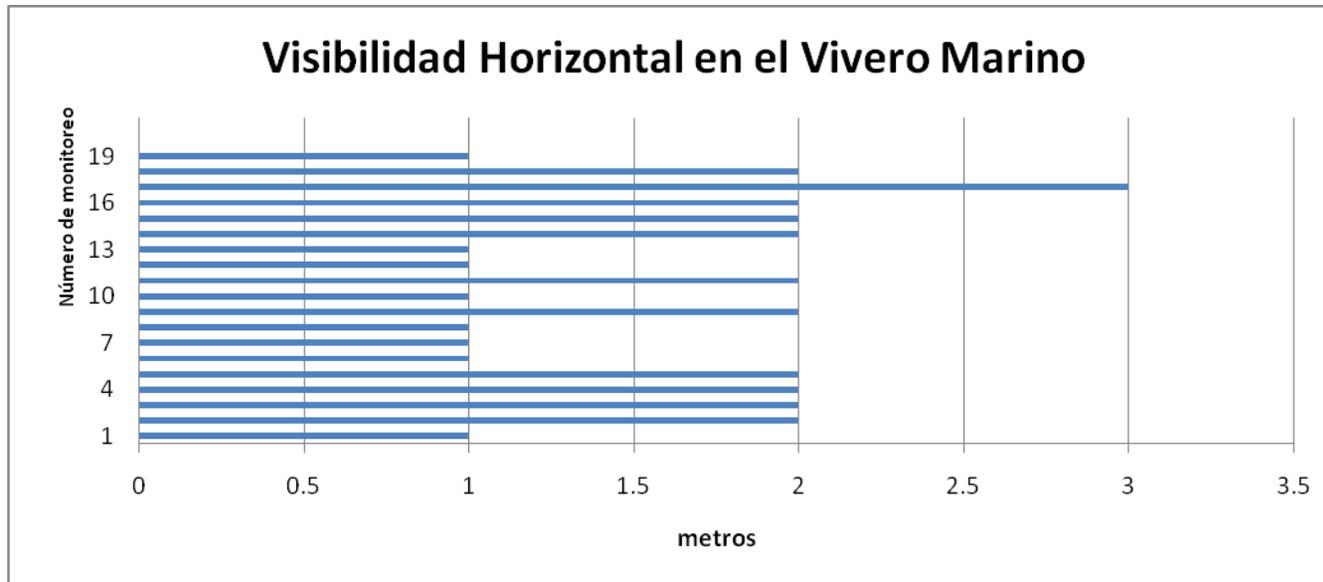


Figura 17. Visibilidad horizontal en el vivero marino.

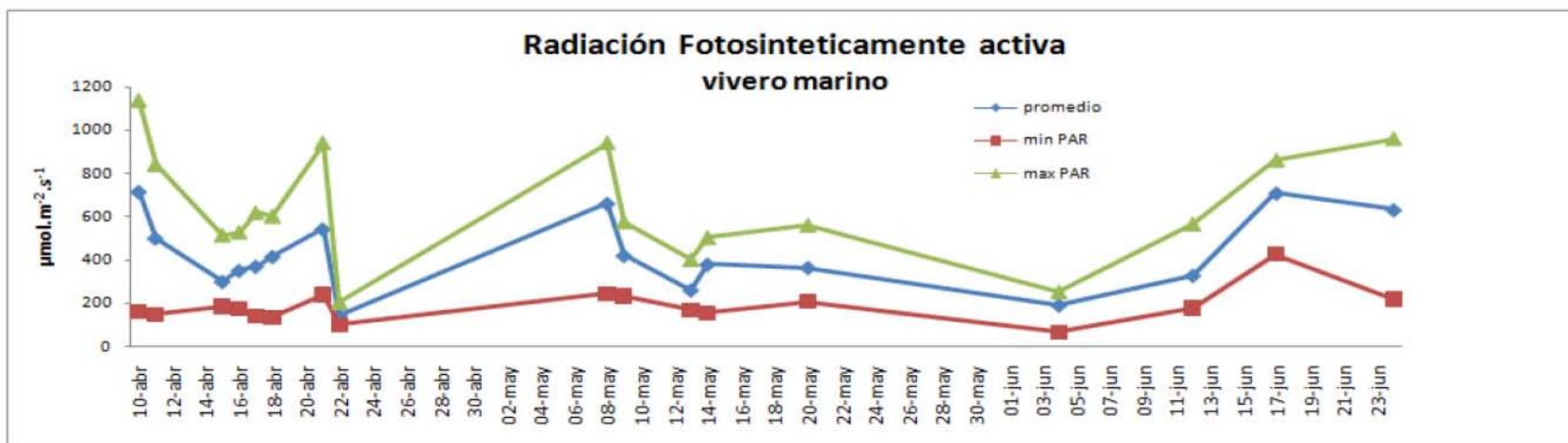
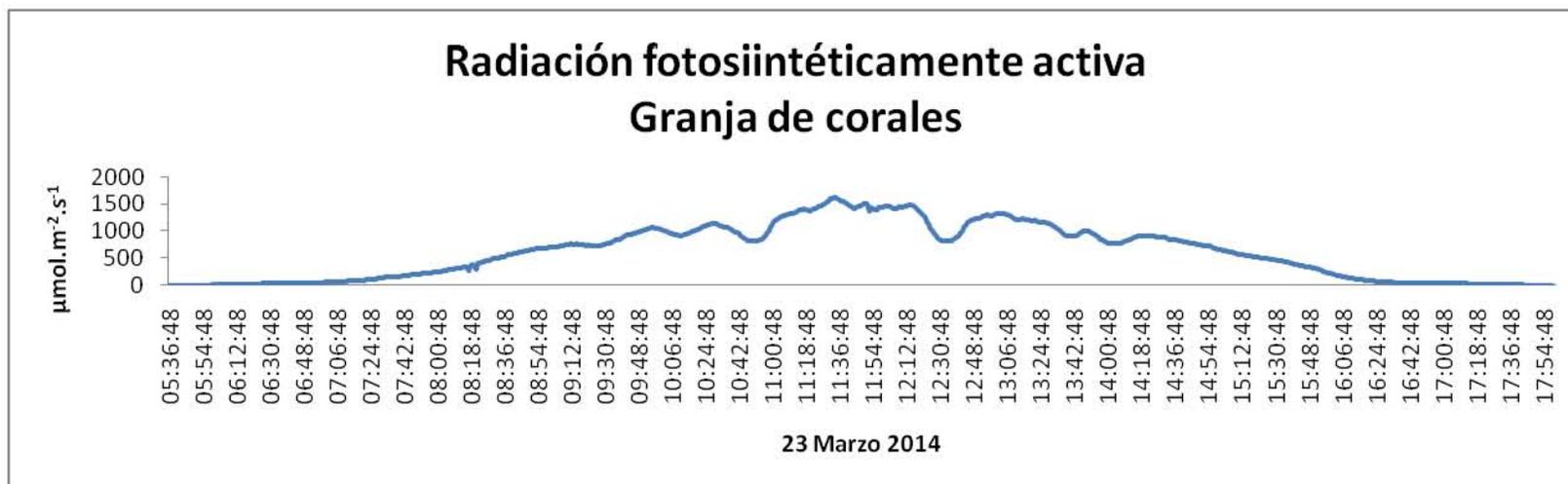


Figura 18. Radiación fotosintéticamente activa en la granja de corales (arriba) y en el vivero marino (abajo).

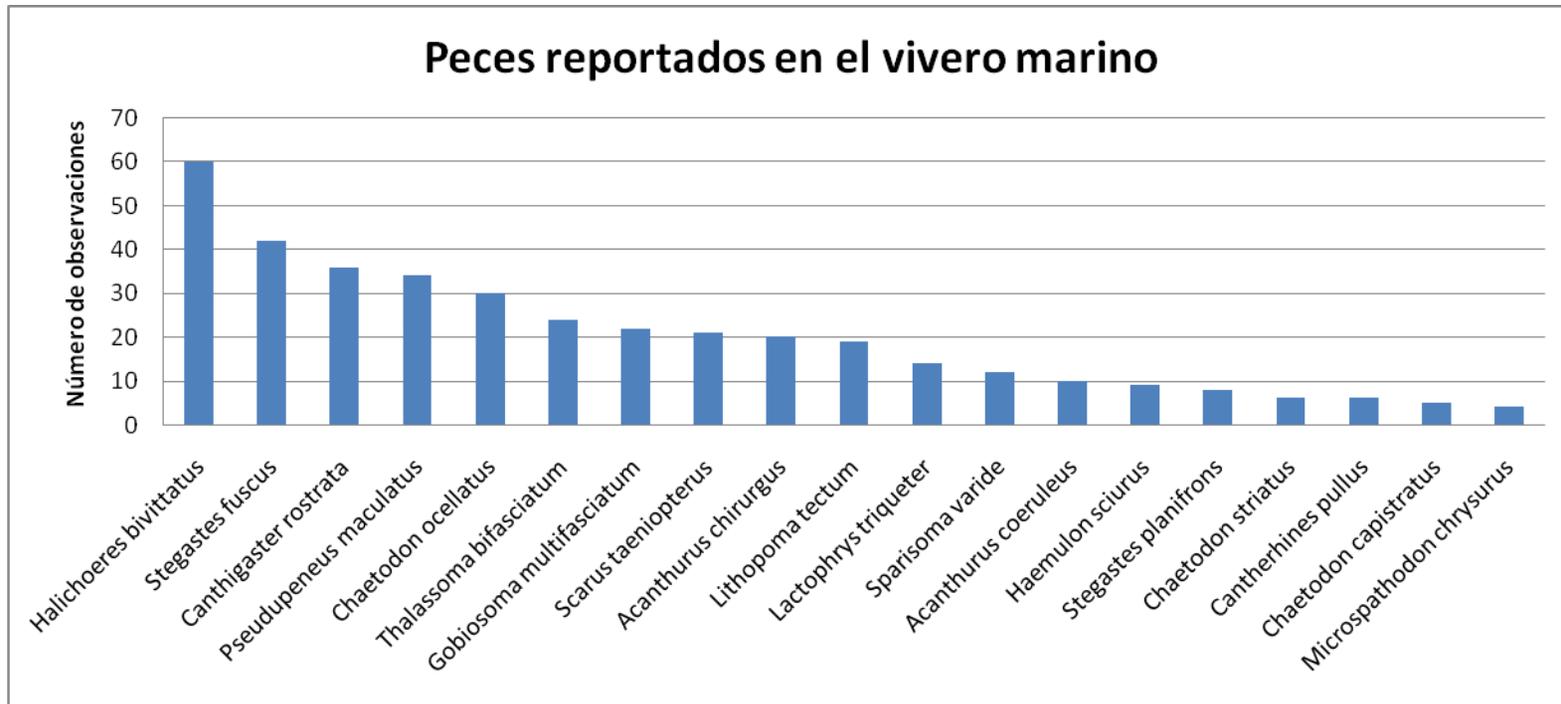


Figura 19. Número de observaciones de las especies de peces en el vivero marino

A partir del avistamiento de peces se obtuvo cuáles eran los peces con mayor abundancia relativa: *Stegastes fuscus*, conocido como “Damisela”, utilizaba las plataformas del vivero como sitio de refugio, anidación y como fuente alimenticia, ya que comía del alga que cubría los tubos de las plataformas del vivero marino. Al concluir el monitoreo en cada plataforma había un individuo. Alguno de ellos presentaba comportamientos defensivos y territoriales alejando a cualquier otro pez.

Halichoeres bivittatus, conocido como “Donsela rayada”, *Canthigaster strata*, conocido como “Globito nariz afilada” y *Pseudopenaeus maculatus*, conocido como “pez cabra” se refugiaban en las plataformas. De los peces con menor abundancia relativa: *Chaetodon ocellatus*, conocido como “pez mariposa” se le observó alimentándose de los pólipos de las colonias de 2011 y 2012 (Figura 20). Heridas en los reclutas de la categoría 2011 se asemejan a mordidas por parte del pez loro, *Scarus taeniopterus*. *Acanthurus chirurgus* (“pez cirujano”), *Thalassoma bifasciatum* (“pez bicolor”) se observó alimentándose del alga que recubría el tubo PVC y los sustratos a los que estaban sostenidos los reclutas sexuales. *Cantherhines pullus*, conocido como “pez lija”, se observó cerca de los reclutas sexuales, alimentándose del alga que se encontraba en los sustratos y cerca del tejido coralino.

Anterior al traslado de los reclutas interactuaban con anémonas del orden Actinaria, compitiendo por espacio con los reclutas sexuales así como poliquetos. Al introducir los reclutas sexuales al vivero marino la población de anémonas disminuyó por depredación por parte de *Chaetodon ocellatus* principalmente (Figura 20). Por otro lado a partir del “monitoreo 10” se reportó la presencia de moluscos gasterópodos, posiblemente de la familia Turbibidae en tres de las plataformas del vivero marino, posibles causantes de heridas en los reclutas sexuales. También hubo presencia de algas filamentosas y calcáreas, pero éstas no se identificaron y eran removidas como parte del plan de limpieza.



Figura 20. *Chaetodon ocellatus* alimentándose de pólipos de un recluta sexual de la categoría 2011.

Resultados del monitoreo biológico

Sobrevivencia

El porcentaje de sobrevivencia de la categoría 2011 es del 100% y de la categoría 2012 es de 94.4%. No existe diferencia significativa entre los porcentajes de sobrevivencia entre la categoría 2011 y 2012 ($\text{Chi}^2=2.08$, $p>0.05$). Mientras que entre las categorías 2012 y 2013, en dónde 0% es el porcentaje de sobrevivencia para la última categoría, si existe una diferencia significativa entre los porcentajes de sobrevivencia ($\text{Chi}^2=30.31$ $p<0.05$) (Figura 21).

Mortandad

En la categoría 2013 el 100% de los reclutas no sobrevivieron. De los reclutas 2013 de la UNAM que murieron por algún tipo de causa de estrés, el 50 % se reportaron muertos un día después a su traslado, el 12.5 % solo sobrevivió 6 días y el 25% 11 días. El 12.5% murió a causa de depredación después de 11 días de estancia (Figura 22). El 50% de los reclutas 2013 de Xcaret murieron a causa de algún tipo de estrés, difiriendo en tiempos 7, 40 y 48 días de sobrevivencia. El otro 50% murió por depredación difiriendo 26 y 48 días (Figura 23). En la categoría 2012 se reportó un recluta no sobreviviente, la causa se le adjudica a la no recuperación de heridas por parte de mordidas de peces. El esqueleto muerto posteriormente se reportó con crecimiento bacteriano en forma de mancha negra (Figura 24).

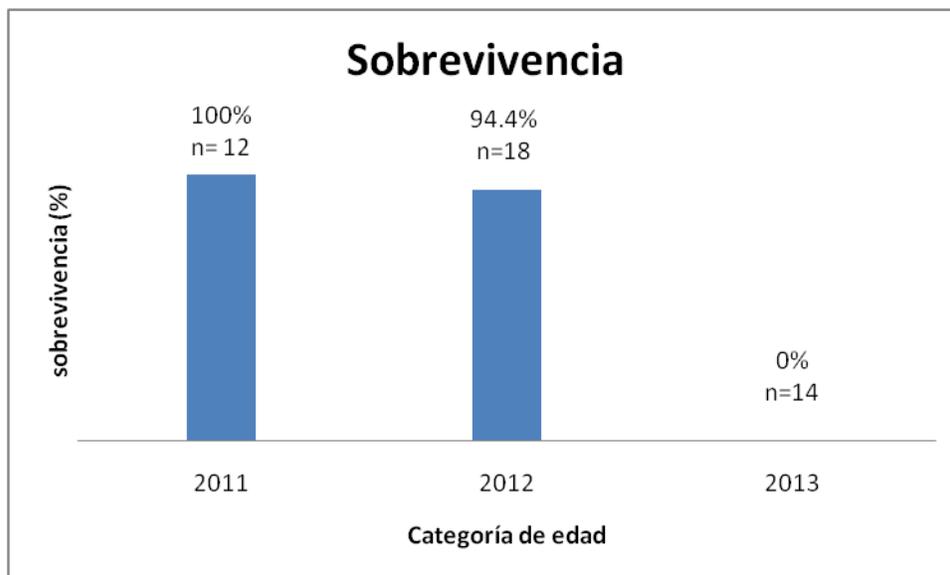


Figura 21. Porcentaje de sobrevivencia por categoría de edad al finalizar el monitoreo de 75 días.

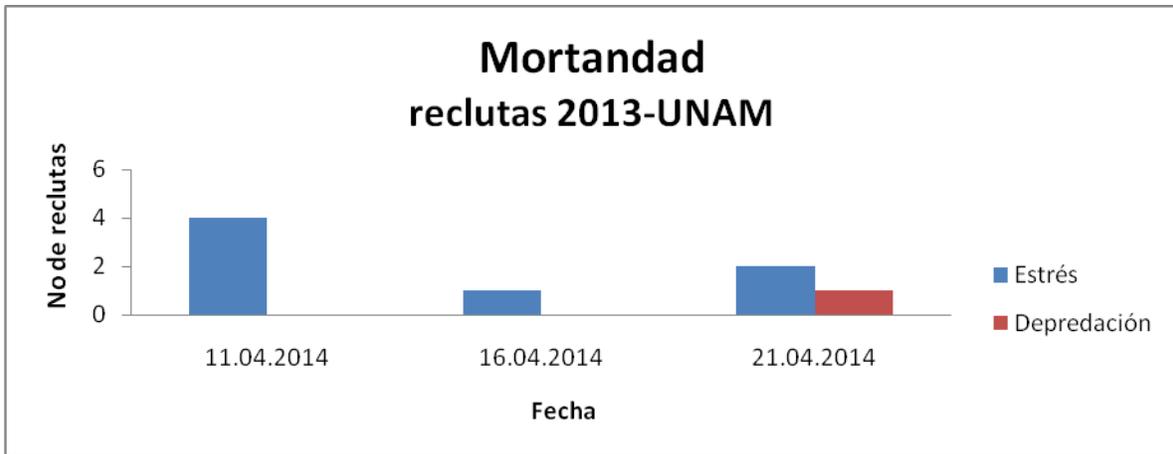


Figura 22. Número de reclutas sexuales muertas de la categoría 2013-UNAM por fecha y posible causa de mortandad

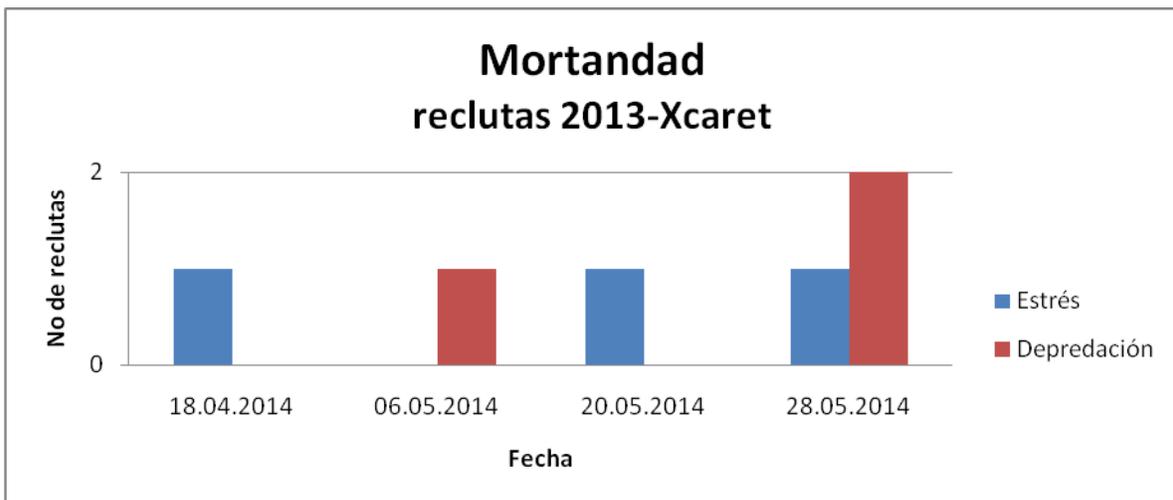


Figura 23. Número de reclutas sexuales muertas de la categoría 2013-XCARET por fecha y posible causa de mortandad

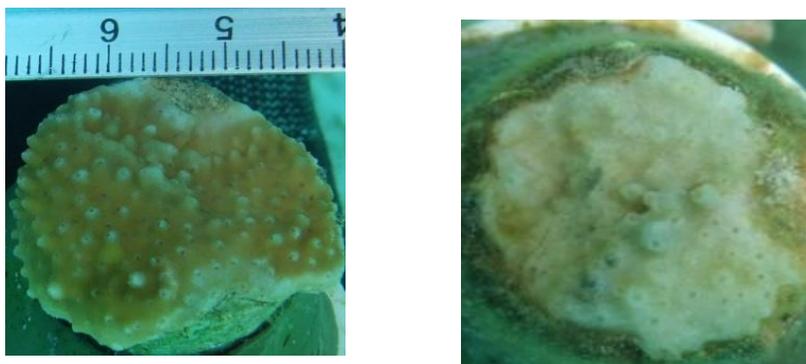


Figura 24. Mortandad de recluta sexual de la categoría 2012. Recluta vivo (izquierda) y recluta muerto (derecha).

Mortalidad parcial y Recuperación

Durante el seguimiento de la recuperación de áreas dañadas, se registró que el 93.3% de los reclutas sexuales correspondiente a las categorías 2011 y 2012 presentaron daño en el tejido vivo. Estos daños se categorizan por su causalidad y difirieron en porcentajes: fragmentación (14.28%), depredación (78.6%) y competencia (7.145%). El 100% de la categoría 2012 sufrió daño por depredación y en la categoría 2011, 33.4% por fragmentación, 50% por depredación y 16.6% por competencia.

La mortalidad parcial por depredación la causaba en la mayoría de los casos los animales como el “pez mariposa” que se alimentaban del pólipo, dañando la estructura esquelética por efecto de la mordida. En algunos casos la fragmentación de la coralita era superficial y en otras ocasiones la coralita era desprendida desde la base (Figuras 25 y 26). En otros casos la herida inició en las orillas, y posiblemente se extendió hacia áreas que en un principio no estaban afectadas (Figura 27). Un recluta de la categoría 2011 presentó una herida de aproximadamente 5 cm de largo por 3 cm de ancho, las coralitas no parecen haber sido mordidas y no hay presencia de tejido vivo (Anexo A).

La mortalidad parcial a causa de algún tipo de estrés se reportó cuando se observó fragmentación o tejido muerto por competencia con otro organismo. Solo la categoría 2011 presentó éste tipo de mortalidad. Los reclutas de la categoría 2011 sufrieron fragmentación en las ramas o brazos (Figura 28), al momento de ésta ruptura los pólipos del fragmento secretaron mucus. Un recluta experimentó una fragmentación por la fuerza de la corriente del sitio, el resto de los reclutas heridos por fragmentación fue ocasionado por mal manejo en el momento del traslado de la granja de corales al vivero marino. En un recluta se reportó la presencia de una estructura esquelética parecida a la de un poliqueto y en otro se observa una anémona en la periferia del tejido del recluta (Figura 29).

Los reclutas sexuales con presencia de mortalidad parcial por depredación fueron significativamente mayor que los que con presencia de mortalidad por algún tipo de estrés ($\chi^2=10.67$, $p<0.05$). Por categoría la depredación en la categoría 2012 se reportó en más ocasiones que en la categoría 2011 y la mortalidad por estrés se reportó en mayores ocasiones en la categoría 2011 y menor en la 2012 ($\chi^2=15.69$, $p<0.05$).

El tipo de recuperación que se observó fue recubrimiento con tejido vivo y cicatrización. Los reclutas que recuperaron las áreas dañadas generando tejido nuevo, se caracterizaron por desarrollar esqueleto duro y recolonizar con tejido vivo. En el caso de la cicatrización solo se observó un crecimiento de esqueleto duro, sin presencia de pólipos ni simbiosis. La correlación entre el tipo de causalidad de la herida y el tipo de recuperación es del 25%. En cuanto al tiempo de recuperación, la talla de los reclutas sexuales con el tiempo de recuperación es menor al 30%. La relación entre el tipo de recuperación y el tiempo de recuperación es del 10% y entre el tipo de causalidad de herida con el tiempo de recuperación es menor al 5% (Tablas 7 y 8).

El porcentaje de reclutas con recuperación de tejido vivo en la categoría 2011 fue mayor que la de 2012, $91.6\% > 50\%$ ($\chi^2=5.72$, $p<0.05$). Los reclutas que no lograron recuperar su herida en el período del monitoreo coinciden en el tipo de causa de heridas (depredación) (Tabla 9).

Crecimiento

A los 8 días de estancia en el vivero marino, ambos reclutas de las categorías 2011 y 2012 presentaron un labio o franja blanca de crecimiento de material calcáreo sin cálices formados (Figura 30). También presentaron crecimiento en las áreas poliposterinales, el cual de hecho bajaba la tonalidad de color en los reclutas (Figura 31). Todos los reclutas sexuales que sobrevivieron presentaron crecimiento con respecto a la talla inicial a excepción de los reclutas F7 Ap1296, E14 Ap1293, C14 Ap1252, C5 Ap1241 y D14 Ap1286 que la pérdida de tejido fue mayor. Sin embargo estos reclutas permanecieron generando tejido vivo.

Comparando el promedio del área basal inicial con el área basal después de 75 días de estancia en el vivero marino. La categoría 2011 si presentó crecimiento ($t=5.39$, $p<0.05$) aumentando en promedio su talla 88.1 cm^2 ($SD\pm 56.6$) con una tasa de crecimiento de 1.17 ($SD\pm 0.75$) cm^2 por día. La 2012 también aumentó su tamaño 10.92 cm^2 ($t=2.18$, $p<0.05$) con una tasa de crecimiento de 0.12 cm^2 ($SD\pm 0.23$) por día. El crecimiento de los reclutas 2011 es significativamente mayor al crecimiento de los reclutas 2012 ($t=4.2$, $p<0.05$) al igual que las tasas de crecimiento ($t=4.1$, $p<0.05$).

Tabla 7. Período, tiempo de recuperación y tipo de recuperación de áreas dañadas presentes en los reclutas 2012.

| CLAVE del recluta | Tipo de herida | Periodo de recuperación (fecha) | Tiempo de recuperación (días) | Tipo de recuperación |
|--------------------------|-----------------------|--|--------------------------------------|-----------------------------|
| A5Ap1207 | depredación | 17/04/14-4/06/14 | 49 | tejido vivo |
| A14Ap1222 | depredación | 17/04/14-4/06/14 | 49 | tejido vivo |
| B5Ap1236 | depredación | 17/04/14-24/04/14 | 7 | cicatrización |
| C5Ap1241 | depredación | 17/04/14-24/06/14 | 69 | cicatrización |
| C7Ap1243 | depredación | 8/05/14-24/06/14 | 44 | cicatrización |
| D5Ap1260 | depredación | 8/05/14-24/06/14 | 44 | cicatrización y tejido vivo |
| D7Ap1276 | depredación | 17/04/14-28/05/14 | 41 | cicatrización |
| E5Ap1290 | depredación | 17/04/14-24/06/14 | 69 | tejido vivo |

Tabla 8. Período, tipo de herida, tiempo de recuperación y tipo de recuperación de áreas dañadas presentes en los reclutas 2011.

| CLAVE del recluta | Tipo de causa de herida | Periodo de recuperación (fecha) | Tiempo de recuperación (días) | Tipo de recuperación |
|--------------------------|--------------------------------|--|--------------------------------------|-----------------------------|
| A15Ap1103 | fragmentación | 17/04/14-21/04/14 | 5 | tejido vivo |
| B6Ap1107 | fragmentación | 17/04/14-24/06/14 | 69 | cicatrizando |
| B15Ap1108 | competencia(poliqueto) | 17/04/14-24/06/14 | 69 | cicatrización |
| C6Ap1111 | depredación | 17/04/14-8/05/14 | 21 | cicatrización |
| C15Ap1114 | depredación | 17/04/14-28/05/14 | 41 | cicatrización |
| D6Ap1116 | depredación | 17/04/14-8/05/14 | 21 | tejido vivo |
| D15Ap1118 | fragmentación | 17/04/14-28/05/14 | 41 | tejido vivo |
| E6Ap1120 | depredación | 17/04/14-8/05/14 | 21 | tejido vivo |
| E15Ap1121 | depredación | 21/04/14-28/05/14 | 41 | cicatrización |
| F6Ap1127 | fragmentación | 17/04/14-28/05/14 | 41 | tejido vivo |
| F15Ap1129 | competencia (anémona) | 11/04/14- 17/04/14 | 6 | cicatrización |

Tabla 9.Reclutas de la categoría 2011 y 2012 con tipo de herida sin recuperación de tejido vivo.

| CLAVE del recluta | Tipo de herida | Fecha de observación |
|--------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| A6Ap1101 | depredación | 28/05/14 |
| A7Ap1236 | depredación | 17/04/14 |
| B7Ap1238 | depredación | 17/04/14 |
| B14Ap1240 | depredación | 17/04/14 |
| C14Ap1252 | depredación | 28/05/14 |
| D14Ap1286 | depredación | 8/05/14 |
| E14Ap1293 | depredación | 17/04/14 |
| F7Ap1296 | depredación | 8/05/14 |
| F14Ap1297 | depredación | 8/05/14 |

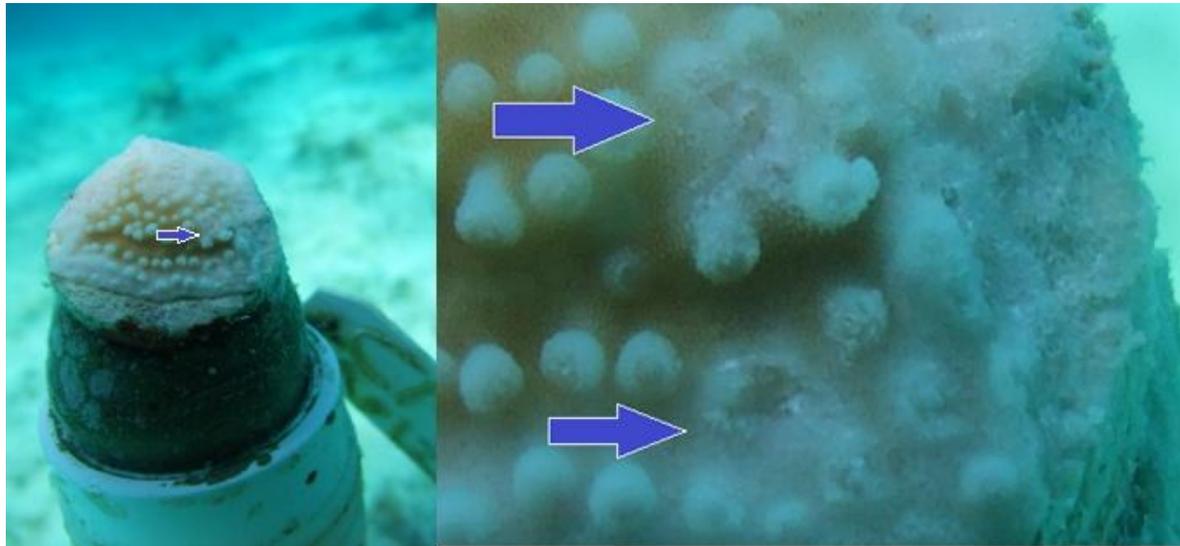


Figura 25. Ejemplo de daños en la coralitas (flecha) por depredación.





Figura 26. Ejemplo de desprendimiento de tejido duro (flecha) por depredación.

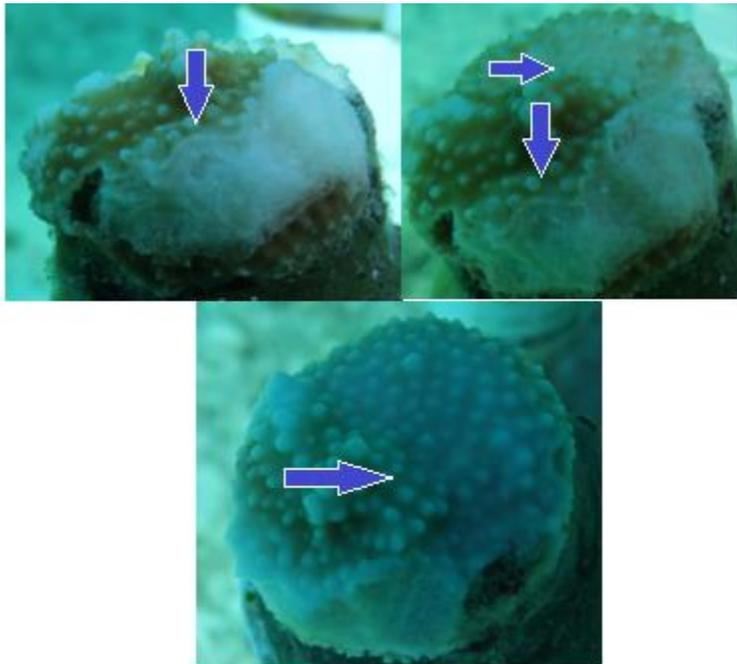


Figura 27. Ejemplo de extensión del daño por herida inicial en un recluta



Figura 28. Ejemplo de herida por fragmentación en las ramas del recluta (flechas).



Figura 29. Ejemplo de heridas causadas por competencia

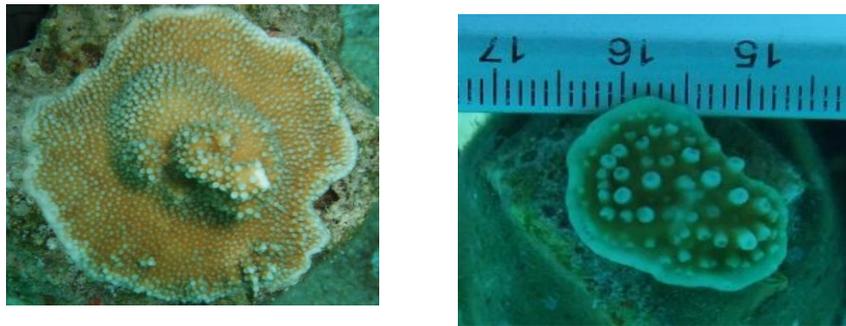


Figura 30. Ejemplos de crecimiento basal (franja color blanco en la orilla)

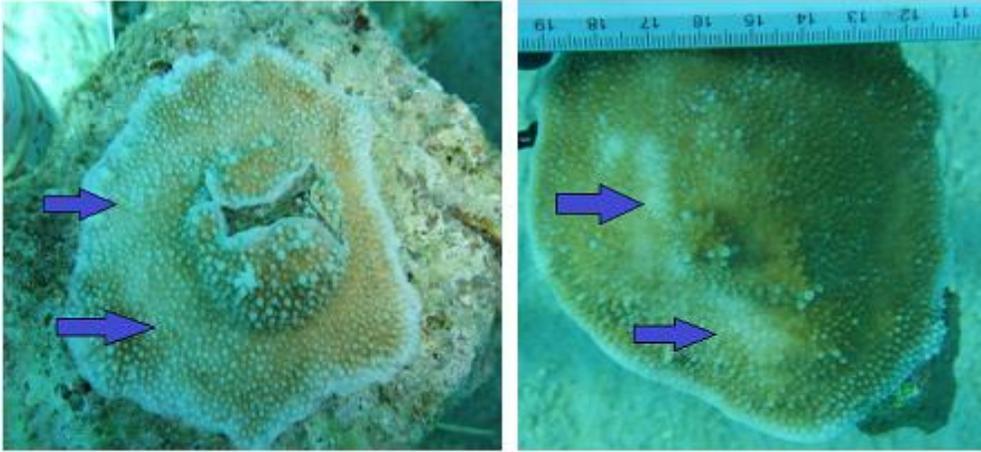


Figura 31. Ejemplos de áreas de crecimiento poliposteriales (flechas señalando áreas blancas sin simbiosis).

Discusión

Sobrevivencia

Los reclutas sexuales de casi dos o más años de cultivo en cautiverio tuvieron sobrevivencias mayores que aquellos que tuvieron una estancia menor a un año por lo que se acepta la hipótesis planteada.

La sobrevivencia de un coral hermatípico como *A. palmata* es multifactorial, cualquier desequilibrio que ocurra en alguna variable puede tener una repercusión en la condición de salud del coral, supervivencia, tamaño y crecimiento. El 96.6% de los reclutas sexuales de más de 2 años correspondientes a una talla mayor a 3.1 cm² (valor mínimo de las tallas de la categoría 2012) sobrevivieron. Mientras que reclutas sexuales de 8 meses de tan solo 1 mm² se reportaron con una sobrevivencia nula. Los reclutas 2013 sufrieron un estrés adicional durante su crecimiento inicial, ya que a partir de agosto 2013 hasta febrero 2014 hubo períodos largos de lluvia (SAMMO-UASA 2015, The Weather Channel, 2015) lo cual afectó el desarrollo de los reclutas que permanecieron en la talla de 1 mm² durante los 8 meses de estancia en la granja de corales. A comparación de la talla de los reclutas 2011 y 2012 a la misma edad (Banaszak, datos no publicados). La salinidad del agua en la granja de corales pudo diferir mes con mes ya que el domo de las instalaciones presentaba pequeñas aberturas ocasionadas por rasgaduras que permiten la entrada de agua proveniente de la lluvia.

En un estudio similar en Filipinas se observó una mayor sobrevivencia de reclutas de *Acropora millepora* con mayor estancia en cautiverio y un pequeño porcentaje de reclutas sobrevivientes de 7 meses (Guest 2014). De igual forma en Bolinao-Anda, Filipinas el 67% de reclutas sexuales de *A. valida* de 1 cm de diámetro de tan solo 6 meses sobrevivieron (Villanueva 2012). En este estudio el 28.6% de los reclutas 2013 muertos por depredación se encontraban en buen estado y en proceso de crecimiento, próximos esfuerzos podrían considerar experimentos como el que se logró en la Isla Akajima, Japón; en dónde mediante un sistema de protección contra depredadores y control de crecimiento algal con *Trochus niloticus*, se logró que reclutas sexuales de *Acropora tenuis* sobrevivieran y en nueve meses alcanzaran una talla de aproximadamente 4 cm de diámetro (Omori 2005). Otro caso parecido ocurrió en Manado, Indonesia; se colocaron sustratos artificiales para el asentamiento de larvas y posteriormente se trasplantaron a un arrecife, 7 de 20 colonias de corales de *Acropora* lograron sobrevivir y 4 aumentar su talla más del doble en dos años (Okamoto, 2012). Talla similar a los reclutas más grandes de

2.8 años de edad que alcanzaron durante la estancia en la granja de corales en este trabajo. Se debe mencionar que las especies pertenecientes al género *Acropora* del Pacífico tienen un mayor índice de recuperación a diferencia que las especies del Caribe (Quinn *et al.* 2006).

Mortalidad parcial y Recuperación

A pesar de que hubo una mayor incidencia de mortalidad parcial en los reclutas de la categoría 2012 con respecto a la 2011 no existe una preferencia inicial por parte de los peces hacia los reclutas de 2012, pero si un mayor impacto, ya que la herida ocasionada en los reclutas de 2012, se podía expandir y posiblemente ser más susceptible a otro tipo de daño (Fisher *et al.* 2007).

Acropora palmata se considera un coral eficiente en la regeneración de tejido perdido por lesiones (Bak 1983, Padilla *et al.* 1990). De los reclutas sobrevivientes que presentaron áreas dañadas, algunos presentaron recuperación y otros no. En este estudio el 68% de los reclutas sexuales de la categoría 2011 y 2012 presentaron recuperación. La categoría 2011 tuvo mayor porcentaje de recuperación que la categoría 2012. En aquellos que no lograron recuperar sus heridas dentro de los 75 días, se reportaron que las áreas dañadas permanecían intactas o en otros casos el área podía extenderse (Meesters *et al.* 1994, Fisher 2007). La mayoría de las heridas fueron causadas por depredación, en algunos casos disminuyendo el tamaño de la colonia y posiblemente afectando las reservas de energía y por consiguiente retrasando la recuperación y crecimiento (Hughes *et al.* 1992). También está la alternativa de que la colonia no fuera capaz de sanar el daño, y permanecer como área muerta (Meesters *et al.* 1994). Según Bak (1983) la rapidez y eficiencia de la regeneración de tejido perdido aumenta con el tamaño así como las habilidades competitivas (Hughes *et al.* 1985). Posiblemente la razón anterior contribuyó a que los reclutas de la categoría 2011 lograran un porcentaje mayor de recuperación.

El tiempo de recuperación de las heridas de los reclutas es diferente de un recluta a otro y es debido a una suma de variables que en este trabajo no se consideraron. Meesters y colaboradores (1994) proponen que el pólipo es capaz de desarrollarse nuevamente pasadas las dos semanas. El tiempo mínimo de recuperación en éste trabajo fue de 5 días y el máximo de 69 días. Esta variación de tiempo puede explicarse por los puntos explicados en el párrafo anterior o por la talla del recluta, aunque a partir de la correlación de los datos, se obtuvo una relación muy baja (<30%). La relación de la talla de la

categoría 2012 y el tiempo de recuperación, también es baja (<40%) por lo que no podríamos asegurar que la talla pudo influir en tiempo de recuperación como otros autores lo han observado (Oren *et al.* 2001).

La clasificación de recuperación que se utilizó en este estudio, fue cicatrización y tejido vivo y fue con base a lo que se observó. Así, aquellos reclutas que presentaron fragmentación en sus ramas, se observó que primero “cicatrizaron” y eventualmente presentaron crecimiento de tejido vivo, caso similar en el caribe colombiano en colonias fragmentadas de *Acropora palmata* (Oviedo 2011). En el caso de las heridas causadas por mordeduras, no existe una relación con el tipo de recuperación. El tiempo y tipo de herida pudieron estar influenciadas por las condiciones ambientales, tamaño de la herida, la ubicación de la herida o el tipo de daño físico (Meesters 1994, Oren 1997, Lirman 2000b). Por ejemplo: esfuerzos de restauración mediante fragmentos, consideraron que el corte de ramas debe ser en forma aplanada para que las caras de pólipos superior e inferior cubran rápidamente la superficie de corte y el proceso de recuperación sea más eficiente (Rogers *et al.* 1982, García *et al.* 1996, Lirman 2000b).

El seguimiento de recuperación de heridas puede funcionar como bioindicador para conocer la condición de los corales (Fisher *et al.* 2007). La recuperación de las heridas por parte de los reclutas influyó en su sobrevivencia. En este estudio tan solo se reportó un recluta muerto a consecuencia de no sobrellevar y sanar una herida causada por depredación.

Crecimiento

A pesar de que la relación edad-tamaño es compleja y no siempre el tamaño de la colonia depende de su edad (Hughes y Jackson 1958, Hughes 1994) la relación de la edad y talla de los reclutas sexuales de *A. palmata* mantiene una relación fuerte (>70%) y la variación de las tallas pudiera ser debido a la concentración de los recursos energéticos hacía la regeneración de tejidos lesionados o a la capacidad de deposición de carbonato de calcio para incrementar dimensiones de cada recluta sexual (Hughes y Connell 1987, Babcock 1991).

Los corales que sobrevivieron se caracterizaron por tener crecimiento, de hecho dentro de la primera semana los reclutas de la categoría 2011 y 2012 presentaron un labio calcáreo. Aunque solo se midió la presencia de tejido nuevo en el área basal, es importante mencionar que durante el monitoreo ningún recluta presentó ramificaciones.

La tasa de crecimiento de la categoría 2011 es significativamente diferente a la tasa de crecimiento de la categoría 2012, posiblemente porque el 100% de los reclutas de la categoría 2012 presentaron depredación y en algunas ocasiones redujeron la talla hasta un 50%. En este caso se podría pensar que la talla influye de manera importante en el crecimiento en presencia de peces depredadores. Sin embargo es un signo positivo que todos los reclutas a pesar de la pérdida de tejido vivo mantuvieran una tasa de crecimiento. La tasa de crecimiento de los reclutas sexuales 2011 es similar a la que se conoce para esta especie entre 2.8 y 4-11 cm por año (Bruckner 2002, Conabio 2011).

Influencia del medio ambiente en la sobrevivencia

Las condiciones generales del vivero marino influenciaron de manera positiva en la sobrevivencia de los reclutas sexuales 2011 y 2012, que solo presentaron mortalidad parcial, la mayoría de ellos con recuperación de tejido. Para la categoría 2013 las condiciones del vivero marino representaron la mortandad de todas las colonias.

Los rangos de salinidad, temperatura y concentración de nutrientes reportados en el vivero marino se encuentran dentro del rango óptimo para el género de *Acropora* (Szmant 2002, Baohua *et al.* 2004, Boulon *et al.* 2005, CONABIO 2011, Hernández-Zárate *et al.* 2011).

Considerando que la habilidad de los corales para tolerar cambios en las condiciones ambientales depende de sus mecanismos fisiológicos de aclimatación (Gates y Edmunds 1999), cualquier traslado podría provocar un estrés a ellos, aunque en este trabajo se tomaron medidas precautorias para disminuir el estrés. Los reclutas 2013 por su talla pequeña podrían ser más susceptibles.

VARIABLES como la cantidad de luz, la temperatura y el movimiento del agua pueden influenciar en el crecimiento de los reclutas sexuales (Rogers 1994). Un estudio con *Acropora verweyi* demostró una mayor tasa de crecimiento con una intensidad de luz de $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y temperaturas altas (29°C) (Reynaud *et al.* 2004). La tasa de crecimiento para la categoría 2011 en este trabajo fue de $1.17 \text{ cm}^2 \text{ d}$ con una temperatura máxima de 28.5°C .

La tasa de sedimentación en el vivero marino fue similar a la reportada en el monitoreo de sobrevivencia trasplante de fragmentos de *A. palmata* en Tayrona, Colombia, la cual coincidió con la época de mayor mortandad en los meses de abril a agosto (Oviedo 2011). El tamaño de los reclutas y la sedimentación del sitio pudieron contribuir en la mortandad y en el desarrollo de los reclutas 2013 (Bak y Elgershuizen 1987, García 2006).

Considerando que la corriente del sitio en dónde se colocó el vivero marino tiene una velocidad alta, la cual pudo contribuir en la remoción del sedimento en el tejido del coral (Granja 2008).

Tanto la competencia como la depredación que presentaron los reclutas en el vivero coinciden con las fuentes bióticas de mortalidad que se reportaron en el monitoreo de sobrevivencia de fragmentos trasplantados en Tayrona (Oviedo 2011). Se sabe que las algas compiten con los corales mediante diferentes mecanismos: recubrimiento, asfixia, sombreado, abrasión e interacciones químicas alelopáticas (McCook *et al.* 2001, Oviedo 2011, López 2012). El plan de limpieza cumplió de manera exitosa para los reclutas de mayor talla, evitando el crecimiento de alga en el tejido del coral.

Por su información biológica se piensa que *Chaetodon ocellatus* pudo ser causante de la depredación de reclutas y generador de heridas (Schuhmacher 1978). A la familia Scaridae (*Scarus taeniopterus* y *Sparisoma viride*) se le atribuye un rol importante en la remoción de algas en los corales (Mumby 2009, Graham y Nash 2013). Aunque a *Sparisoma viride* también se le conoce como depredador de corales escleractineos (Raymundo *et al.* 2008).

Stegastes fuscus se caracteriza por la generación de espacios en el tejido del coral para que las algas puedan crecer y obtener otra fuente de alimento (Santodomingo *et al.* 2002). De las especies registradas durante el estudio, los peces ramoneadores como, *Thalassoma bifasciatum*, *Cantherhines pullus* pudieron participar en la generación de heridas de los reclutas de forma accidentada al momento de alimentarse de otro organismo dañando el tejido del coral (Fitch 1990) aunque a estos no se les observó interactuando de manera directa con los reclutas. Estas y otras especies reportadas también participaron de manera indirecta en la limpieza del vivero marino, ya que se alimentaban de las algas que crecían en los tubos de PVC y en el sustrato de los reclutas.

Implicaciones para la restauración

Los corales como *Acropora palmata* contribuyen a la complejidad estructural y funcional de los arrecifes coralinos (Graham 2013), por lo que se han utilizados en esfuerzos de restauración.

Los reclutas sexuales son organismos de la misma especie genéticamente distintos entre sí, con diferentes capacidades. Esta variabilidad, producto de la reproducción sexual aumenta la probabilidad de sobrevivencia de la especie a lo largo del tiempo en un

ambiente cambiante. En este estudio observamos que reclutas de la misma edad, tienen tallas diferentes, tasas de crecimiento diferentes y tiempos de recuperación diferentes, lo cual nos habla de que la diversidad genética contribuye con la adaptabilidad a diversos eventos que comprometen su sobrevivencia.

La estancia y cuidado de los reclutas durante dos años y ocho meses asegura el 100% de su sobrevivencia así como la estancia en un vivero antes de instalarlos en un arrecife. La desventaja de los reclutas 2013 por su tamaño influyó en la sobrevivencia, por lo que no podríamos descartar la utilización de estos reclutas para acciones de restauración. Con ello podemos decir que son los primeros meses de cuidado los que se deberían poner mucho esfuerzo para que el recluta al menos alcance una talla mínima de sobrevivencia, que en este trabajo es de 3.1cm^2 .

Los costos de cuidado de los reclutas sexuales son altos, pues el esfuerzo humano, materiales y mantenimiento en general del sistema de granja de corales y vivero son de alta demanda (Precht 2006). Aunque siempre se trató de reducir los gastos, la utilización de amplios recursos humanos y financieros permiten darnos cuenta que la crianza de reclutas sexuales para restauración de un sitio, debe estar acompañada con esfuerzos integrales del sector privado y gubernamental para el cuidado de estas áreas. Pues tan solo del año 1997 al 2005 se reportaron 22 encallamientos, de los cuales 17 corresponden al estado de Quintana Roo (García 2006), por mencionar un ejemplo. No cuento con el costo real de este trabajo, pero el proyecto de restauración del cual este trabajo es parte, está alrededor de 4 millones de pesos.

Este trabajo pretende también justificar la instalación de un vivero marino, como un sitio intermediario entre la granja y el arrecife. La elección del sitio de instalación estuvo sujeto a que colonias de *A. palmata* habitaban la zona y por la practicidad de la cercanía, aunque esto aumenta la probabilidad de susceptibilidad a la contaminación procedente de la tierra.

La estancia del vivero incluye un manejo de los corales como es el plan de limpieza, que consistía principalmente en remover alga filamentosa cercana al tejido de los reclutas, con el objetivo de aumentar la probabilidad de éxito en la sobrevivencia. Por razones operativas no se le dio seguimiento a este mantenimiento en cuanto a la cobertura algal, pero el plan de limpieza intentó gradualmente disminuir en la periodicidad.

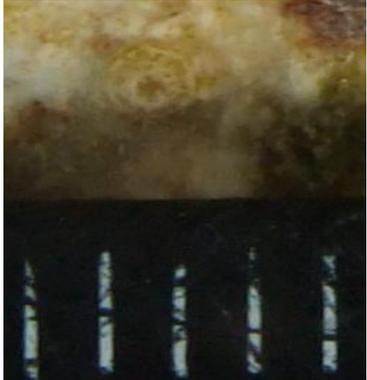
Se podría pensar que mejorando las condiciones del vivero marino, reclutas sexuales de menor edad podrían aumentar su probabilidad de éxito, (Omori 2005, Shafir *et al.* 2006, Guest 2014).

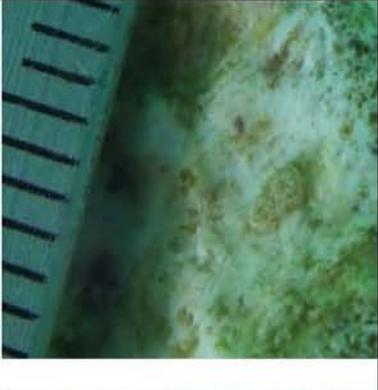
Conclusiones

- La edad óptima del traslado de los reclutas sexuales a un sitio con condiciones similares a las del vivero marino es a partir de los 1.8 años de edad. Los reclutas menores a 1 año se encontraban en desventaja con respecto a la talla.
- La recuperación que se observó en los reclutas sexuales puede ser un indicador indirecto de la importancia de la diversidad genética.
- Las condiciones del vivero marino y la talla inicial de los reclutas sexuales de mayor edad permitieron una tasa de crecimiento de 2.9 cm^2 , la cual se considera alta.
- El vivero marino se considera una importante fase intermedia entre la granja de corales y un arrecife marino.
- El plan de limpieza que se decidió realizar durante el monitoreo fue adecuado para reducir la competencia con algas y esponjas o asfixia por partículas.

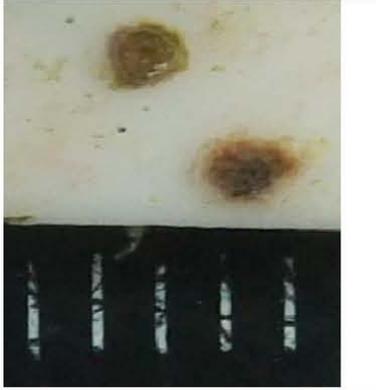
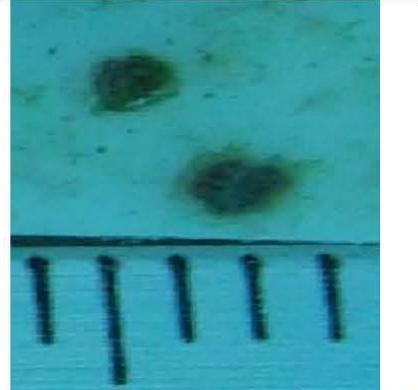
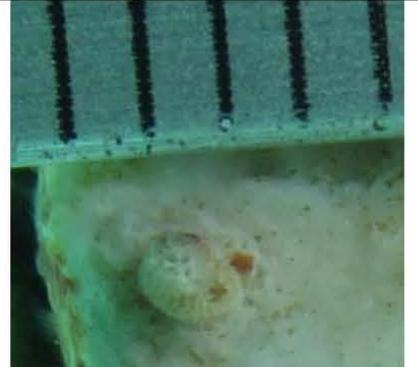
Anexos

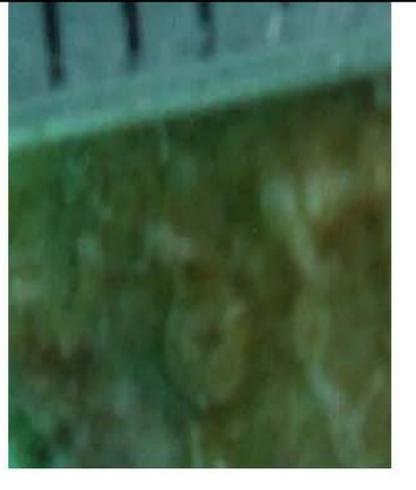
Tabla 10 .Seguimiento Fotográfico de los reclutas sexuales 2013.

| Clave | 3.03.14 | 17.04.14 | 8.05.14 | Fecha y causa |
|--------------------|--|---|--|--------------------|
| A9 U Ap13 83 |  |  | | 21.04.14 Estrés |
| A11 Ap13 02 |  |  |  | 20.05.14 Estrés |

| | | | | |
|----------------------------|--|---|--|---------------------------------|
| <p>B9U Ap13 03</p> |  |  | | <p>21.04.14 Estrés</p> |
| <p>B11 Ap13 27</p> |  |  | | <p>18.04.14 Estrés</p> |
| <p>C9U Ap13 16</p> |  |  | | <p>21.04.14 Depredación</p> |

| | | | | |
|-----------------------------|--|--|--|--------------------------------|
| <p>C11 Ap13 28</p> |  |  | | <p>6.05.14 Depredación</p> |
| <p>C12U Ap13 88</p> |  | | | <p>16.04.14 Estrés</p> |

| | | | | |
|----------------------------|--|--|---|----------------------------|
| <p>D9U Ap13 04</p> |  |  | | <p>11.04.14 Estrés</p> |
| <p>D11 Ap13 43</p> |  |  |  | <p>28.05.14 Estrés</p> |
| <p>E9U Ap13 11</p> |  | | | <p>11.04.14 Estrés</p> |

| | | | | |
|----------------------------|--|--|---|---------------------------------|
| <p>E11 Ap13 58</p> |  |  |  | <p>28.05.14 Depredación</p> |
| <p>F9U Ap13 25</p> |  | | | <p>11.04.14 Estrés</p> |

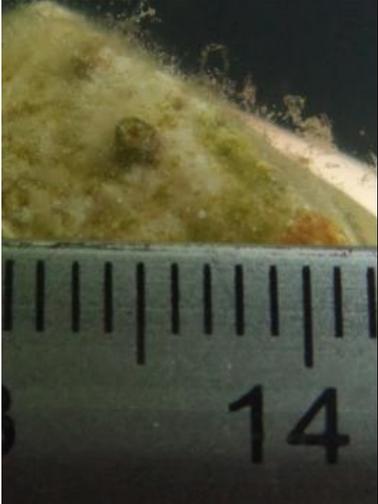
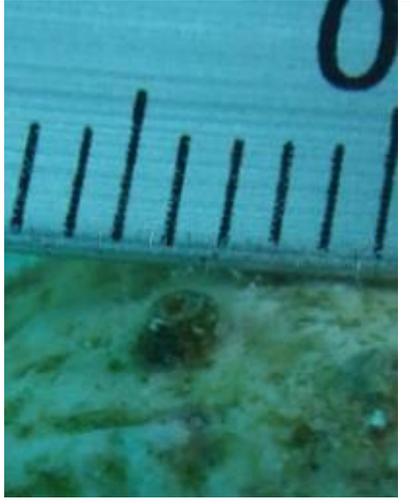
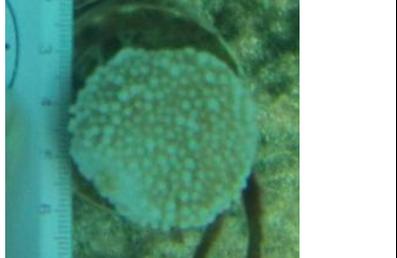
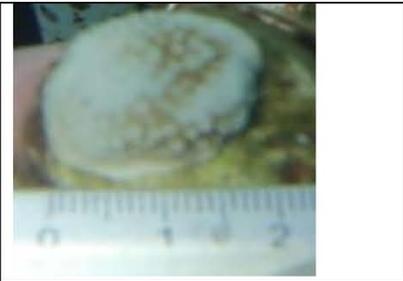
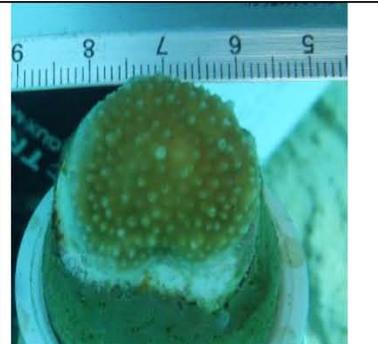
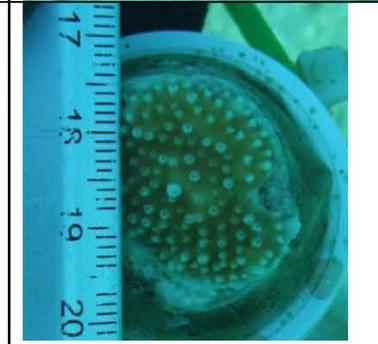
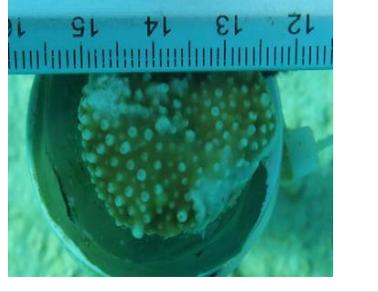
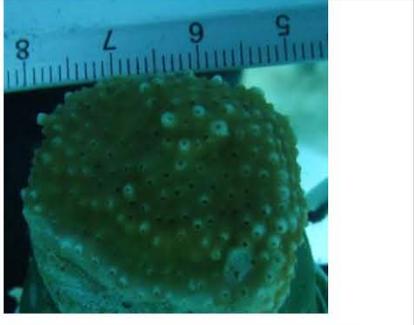
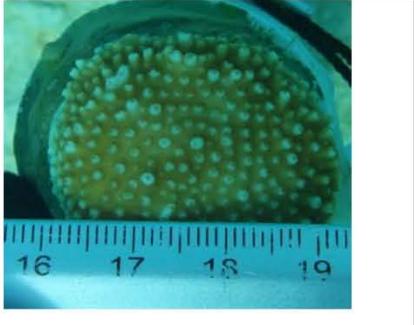
| | | | | |
|--------------------|---|--|---|-------------------------|
| F11 Ap13 96 |  |  |  | 28.05.14 Depredación |
| F12U Ap13 32 | Sin registro | | | 11.04.14 Estrés |

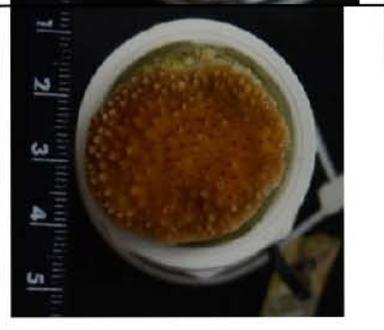
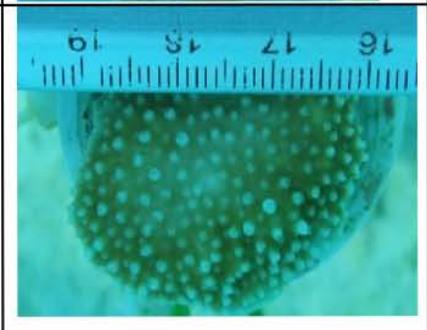
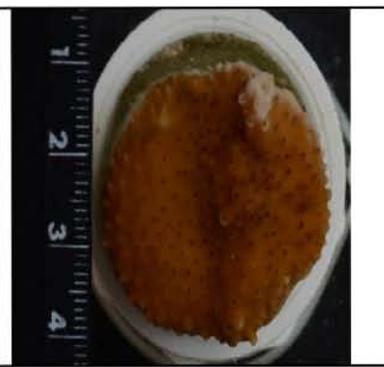
Tabla 11. Seguimiento fotográfico de los reclutas sexuales 2012.

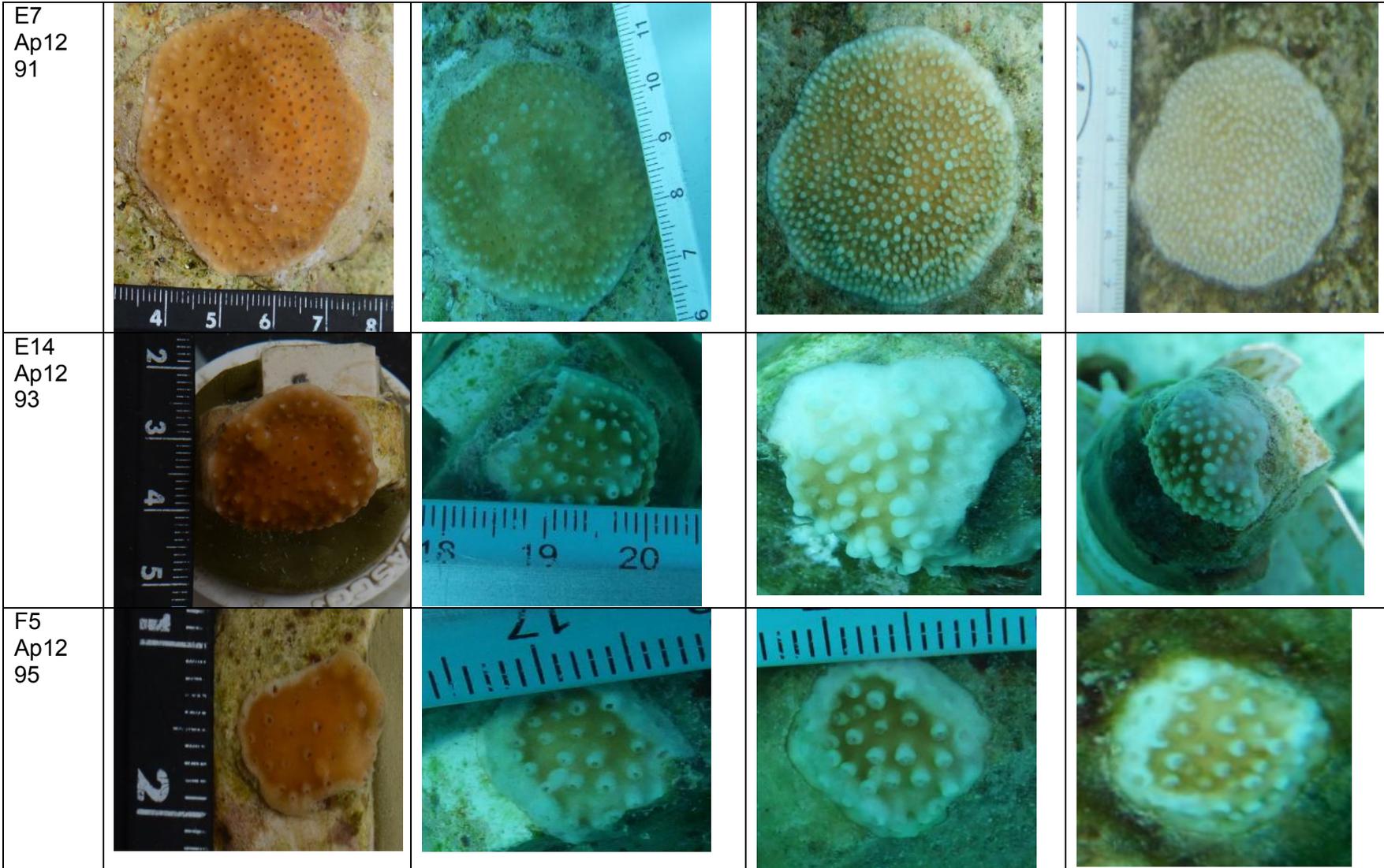
| Clave | 3.03.14 | 17.04.14 | 8.05.14 | 24.06.14 |
|------------------|--|---|--|--|
| A5 Ap12 07 |  |  |  |  |

| | | | | |
|----------------------------|--|---|--|--|
| <p>A7 Ap12 22</p> |  |  |  |  |
| <p>A14 Ap12 26</p> |  |  |  |  |
| <p>B5 Ap12 36</p> |  |  |  |  |

| | | | | |
|----------------------------|--|---|--|--|
| <p>B7 Ap12 38</p> |  |  |  |  |
| <p>B14 Ap12 40</p> |  |  |  | <p>Muerto</p> |
| <p>C5 Ap12 41</p> |  |  |  |  |

| | | | | |
|----------------------------|--|---|--|--|
| <p>C7 Ap12 43</p> |  |  |  |  |
| <p>C14 Ap12 52</p> |  |  |  |  |
| <p>D5 Ap12 60</p> |  |  |  |  |

| | | | | |
|----------------------------|--|---|--|--|
| <p>D7 Ap12 76</p> |  |  |  |  |
| <p>D14 Ap12 86</p> |  |  |  |  |
| <p>E5 Ap12 90</p> |  |  |  |  |



F7
Ap12
96



F14
Ap12
97

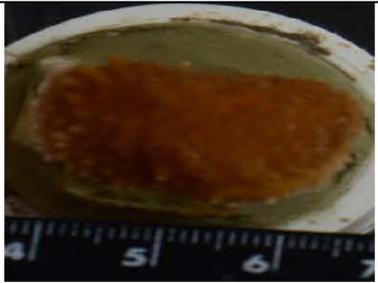
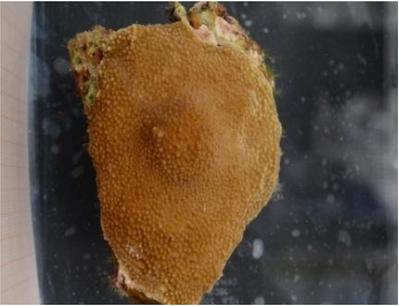
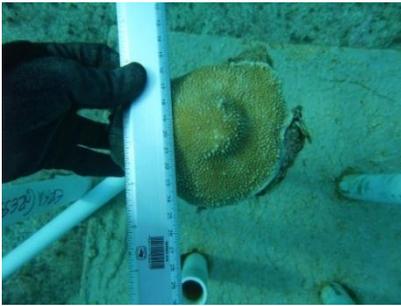
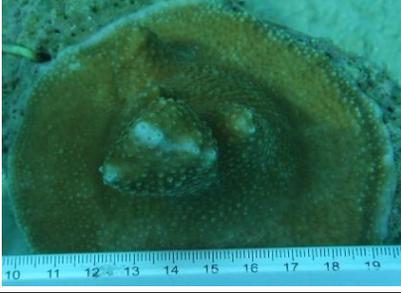
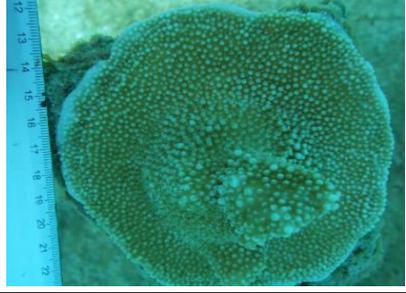
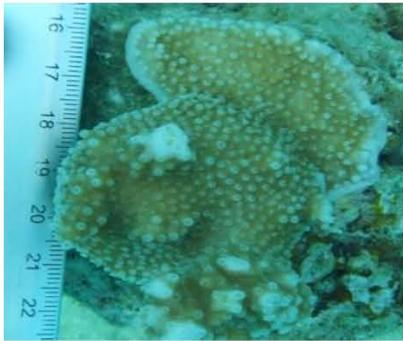
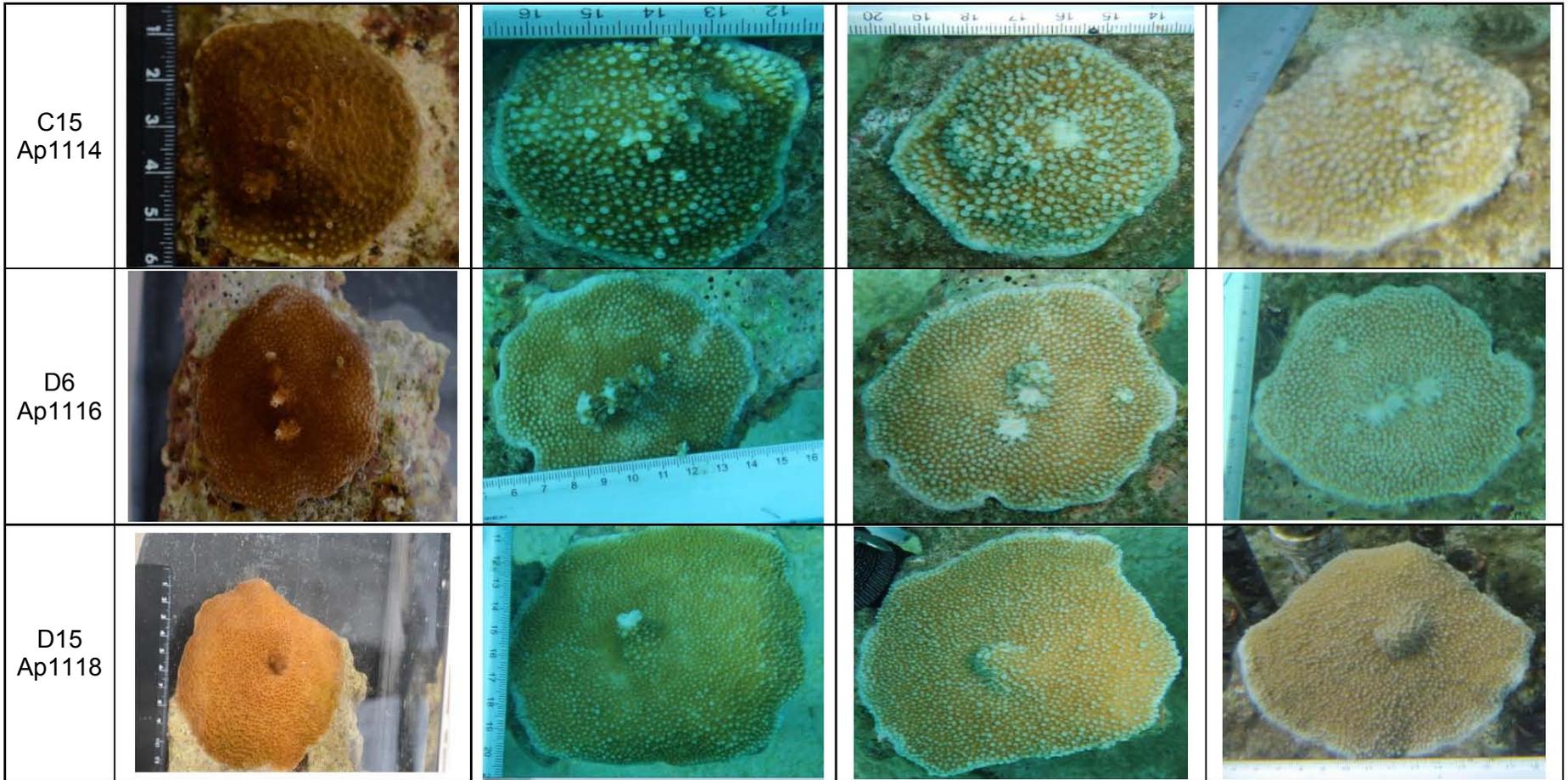
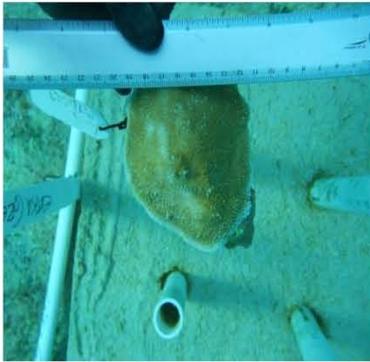


Tabla 12. Seguimiento fotográfico de los reclutas sexuales 2011.

| Clave | 3.03.14 | 17.04.14 | 28.05.14 | 24.06.14 |
|---------------|---|--|---|---|
| A6 Ap1101 |  |  |  |  |
| A15 Ap1103 |  |  |  |  |

| | | | | |
|-----------------------|--|---|--|--|
| <p>B6 Ap1107</p> |  |  |  |  |
| <p>B15 Ap1108</p> |  |  |  |  |
| <p>C6 Ap1111</p> |  |  |  |  |



| | | | | |
|-----------------------|---|--|---|---|
| <p>E6 Ap1120</p> |  |  |  |  |
| <p>E15 Ap1121</p> |  |  |  |  |
| <p>F6 Ap1127</p> |  |  |  |  |

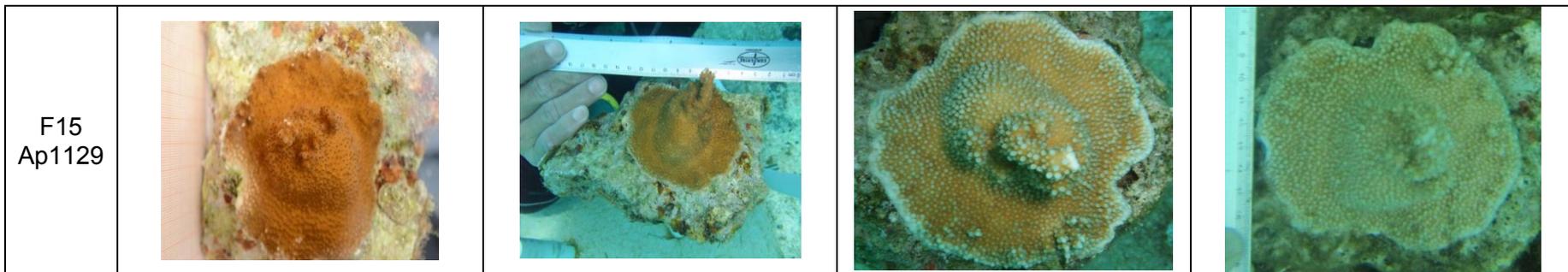


Figura 32. Colonias de *A. palmata* del sitio "Las Cuevas" cercanas al vivero marino. Izquierda- colonia de 0.8 m de ancho por 3 m. de altura. En medio - Colonia de 7 cm de diámetro. Derecha-Rama con una herida o lesión de una colonia de *A. palmata* del sitio Las Cuevas causada posiblemente por moluscos.

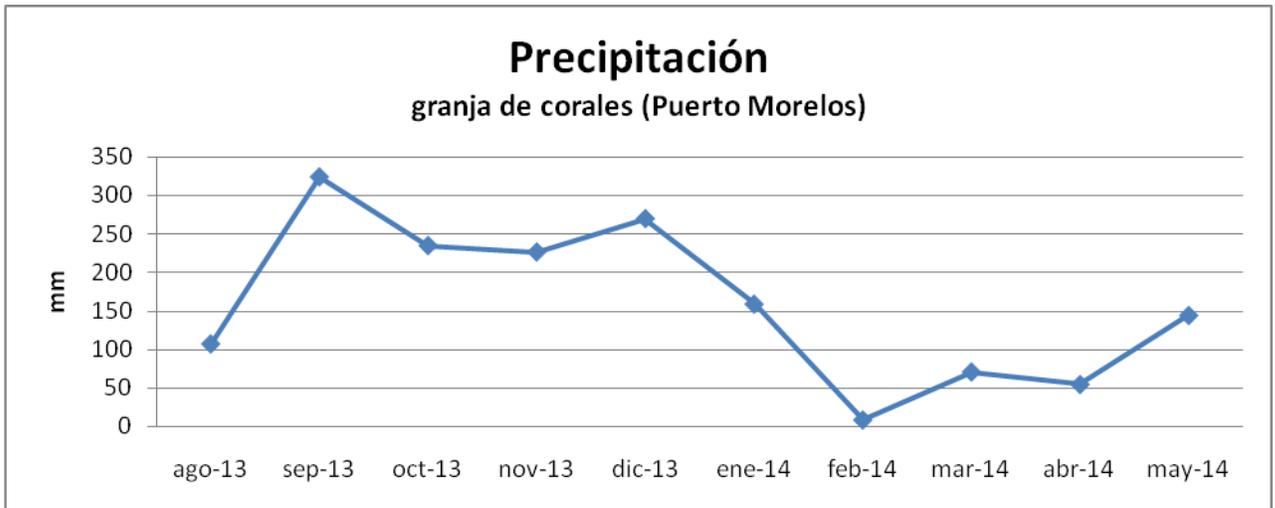


Figura 33 Precipitación mensual de agosto 2013 a mayo 2014 en Puerto Morelos, Quintana Roo (SAMO-UASA 2015).

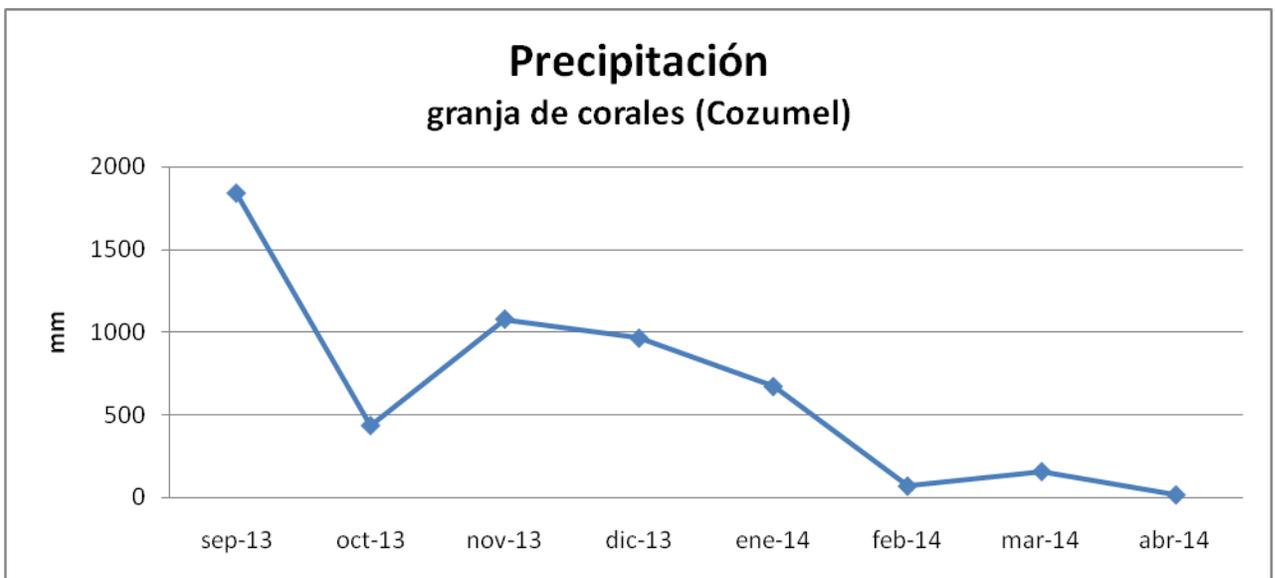


Figura 34 Precipitación mensual de septiembre 2013 a abril 2014 en Cozumel, Quintana Roo (The Weather Channel 2015).

Referencias

- Albright R, Mason B, Miller M, C Langdon (2010) Ocean acidification compromises recruitment success of the threatened Caribbean coral *Acropora palmata*. Proceedings of the National Academy of Science 107 (47): 20400-20404.
- Arias-González JE, Nuñez-Lara E, Rodríguez-Zaragoza FA y P Legendre (2011) Indicadores del paisaje arrecifal para la conservación de la biodiversidad de los arrecifes de coral del Caribe. Ciencias Marinas 37(1):87-96.
- Aronson RB, WF Precht (1997) Stasis, Biological Disturbance, and Community Structure of a Holocene Coral Reef. Proceedings of the Caribbean Acropora Workshop: Potential Application of the U.S. Endangered Species Act as a Conservation strategy. NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-24, Silver Spring, MD 199 pp.
- Babcock RR (1985) Growth and mortality in juvenile corals (*Goniastrea*, *Platygyra*, *Acropora*) the first year. Proceedings of the 5th International Coral Reefs Congress, 2:15.
- Babcock RR (1991) Comparative demography of three species of scleractinian corals use age-dependent and size-dependent classifications. Ecological Monographs 61: 225-227.
- Bak RPM, JHB Elgershuiizen (1976) Patterns of oil-sediment rejection in coral. Marine Biology 37:105-113.
- Bak RPM, MS Engel (1979) Distribution, abundance and survival of juvenile hermatypic corals. Marine Biology 54: 341-352.
- Bak RPM (1983) Neoplasia, regeneration and growth in the reef building coral *Acropora palmata*. Marine Biology 54:341-352.
- Baohua Z, Guangce W, Bo H, CK Tseng (2004) Effects of temperature, hypoxia, ammonia and nitrate on the bleaching among three coral species. Chinese Science Bulletin 49 (18):1923-1928.
- Beltran-Torres, AA, Carricart-Ganivet JP (2011) Uso y Manejo de los arrecifes coralinos. En Pozo C, Armijo-Canto, N Calmé eds. Riqueza Biológica de Quintana Roo. Un Análisis para la Conservación. (1,127-131pp) CONABIO, México, D.F.
- Boulon R, Chiappone M, Halley R, Jaap W, Kruczynski B, Miller M, C Rogers (2005) Atlantic *Acropora* Status Review Document. Report to National Marine Fisheries Service. Southeast Regional Office, Miami, 152 pp.
- Bruckner AW (2002) Proceedings of the Caribbean *Acropora* Workshop: Potential Application of the U.S. Endangered Species Act as a Conservation Strategy. NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-24, Silver Spring, MD 184 p.
- Bruckner AW, RJ Bruckner (2001) Condition of restored *Acropora palmata* fragments off Mona Island, Puerto Rico, 2 years after the *Fortuna Reefer* ship grounding. Coral Reefs 20: 235-243.

Carabias LJ, Provencio E, De La Maza E, Gutierrez D, M Gómez (2000) Programa de Manejo del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos. Instituto Nacional de Ecología. 225 pp.

Charuchinda M, J Hylleberg (1984) Skeletal extensión of *Acropora formosa* at a fringing reef in the Andaman sea. Coral Reefs 3:215:219.

Chilcoat GC (2004) Growth and survival of transplanted *Acropora cervicornis* in relation to coral reef restoration. Faculty of The University of Georgia, Athens, Georgia. 100 pp.

Cinner JE, McClanahan TR, Daw TM, Graham NAJ, Maina J, Wilson SK, TP Hughes (2009) Linking social and ecological systems to sustain coral reef fisheries. Current Biology 19:206–212.

CONABIO (2009) Biodiversidad mexicana. Especies prioritarias. Disponible en: <http://www.biodiversidad.gob.mx/especies/espPrioritaria.html>. México. D.F.

CONABIO (2011) Fichas de especies prioritarias. Coral Cuerno de Alce y Coral Cuerno de Ciervo. México. D.F.

De la Lanza G (2006) Evaluación de la calidad ambiental y dinámica de la zona costera (playas) para la certificación Bandera Azul del municipio Solidaridad, Q. Roo. México. Influencia de la calidad del agua en el estado de conservación de los arrecifes coralinos de la Riviera Maya. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. CQ017. México, D.F. 309 pp.

Diario Oficial de La Nación (1996) NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-ECOL-1996.

Epstein N, Bak RPM, B Rinkevich (2001) Strategies for gardening denuded coral reef areas: The applicability of using different types of coral material for reef restoration. Restoration Ecology 9:432-442.

Fisher EM, Fauht JE, Hallock P, CM Woodley (2007) Lesion Regeneration rates in reef-building corals *Montastraea* spp. As indicators of colony condition. Marine Ecology Progress Series 339:61-71.

Fitch WTS, Shapiro DY (1990) Spatial Dispersion and Nonmigratory Spawning in the Bluehead Wrasse (*Thalassoma bifasciatum*). Ethology 85:199-211.

García M, G Nava (2006) Técnicas de Restauración y Monitoreo en Arrecifes Coralinos. Manual de Referencia. Oceanus, AC., CONANP, Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Veracruz, México. 22 pp.

García RP, Alvarado EM, A Acosta (1996) Crecimiento del coral *Acropora palmata* (Lamarck, 1886) en el Parque Nacional Natural Corales del Rosario, Caribe colombiano. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras 25: 7-18.

Gardner TA, Cote IM, Gill JA, Gant A, Watkinson AR (2003) Long-term region-wide declines in Caribbean corals. Science 301:958-960.

Garza-Pérez JR (2009) Evaluación de Comunidades Bentónicas Arrecifales. Guía de campo y Laboratorio. UMDI-SISAL. Facultad de Ciencias, UNAM. 25 pp.

Gates RD, PJ Edmunds (1999) The Physiological Mechanisms of Acclimatization in Tropical Reef Corals. *American Zoologist* 39: 30-43.

Gladfelter WB (1982) White-band disease in *Acropora palmata*. Implications for the structure and growth of shallow reefs. *Bulletin of Marine Science* 32:639-643.

Gladfelter EH, Monahan RK, WB Gladfelter (1978) Growth rates of five reef-building corals in the northeastern Caribbean. *Bulletin of Marine Science* 28:728-734.

Goreau TF, Goreau NI, Goreau TJ (1979) Corals and coral reef. *Scientific American* 214:110-120.

Graham NAJ, Nash K.L (2013) The importance of structural complexity in coral reef ecosystems. *Coral Reefs* 32:315-326.

Granja FMR, López RAP (2008) Sedimentación en comunidades arrecifales de Bahías de Huatulco, Oaxaca, México. *Revista de Biología Tropical* 56 (3):1179-1187.

Guest JR, Heyward A, Omori M, Iwao K, Morse ANC, C Boch (2010) Rearing coral larvae for reef rehabilitation. In: Edwards A (ed) Reef rehabilitation manual. The Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management Program, St. Lucia, Australia. pp166.

Guest JR, Baria MV, Gómez ED, Heyward AJ, AJ Edwards (2014) Closing the circle: is it feasible to rehabilitate reefs with sexually propagated corals?. *Coral Reefs* 33:45-55.

Hernández-Terrones L, Rebolledo-Vieyra M, Merino-Ibarra M, Soto M, Le-Cossec A, MR Emiliano (2010) Groundwater pollution in a Karstic Region (NE Yucatan): Baseline Nutrient Content and Flux to Coastal Ecosystems. *Water Air and Soil Pollution* 218:517-528.

Hernández-Zárate G, Lango-Reynoso F, Castañeda-Chávez MR, Zamaro-Castro JE, JR Maldonado-Hernández (2011) Cultivo del coral cuerno de alce *Acropora palmata* en un sistema recirculado utilizando agua de mar sintética. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 46 (3): 477-482.

Hughes TP, JBC Jackson (1980) Do corals lie about their age? Some demographic consequences of partial mortality, fission and fusion. *Science* 209:713-715.

Hughes TP, Jackson JBC (1985) Populations dynamics and life histories of foliaceous corals. *Ecological Monographs* 52 (2): 41-166.

Hughes TP, Connell JH (1987) Population dynamics based on size or age? A reef coral analysis. *The American Naturalist* 129:818-829.

Hughes TP, Ayre D, Connell JH (1992). The Evolutionary Ecology of Corals. *TREE* 7 (9): 292-295.

Hughes TP (1994) Catastrophes, Phase Shifts, and Large-Scale Degradation on a Caribbean Coral Reef. *Science* 265 (5178):1547-1551.

Humann P (1993 b) Reef Creature Identification. Florida Caribbean Bahamas. New World Publications, INC. 320 pp.

INEGI (2009) Prontuario de Información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Solidaridad, Quintana Roo. 7 pp.

Jackson JBC (1977) Competition on marine hard substrata: the adaptive significance of solitary and colonial strategies. *The American Naturalist* 111: 743–767.

Jackson JBC (1994) Community unity. *Science* 264: 1412-1413.

Kakaskasen AR, Yap M, M Okamoto (2013) Development of new assessment methods for *Acropora* coral recruitment using coral settlement devices and holes of marine block. *Fisheries science* 79 (4):617/627.

Kramarsky WE, Y Loya (2000) Tissue regeneration in the coral *Fungia granulosa*: the effect of extrinsic and intrinsic factors. *Marine Biology* 137 (5-6):867-873.

Lirman D (1999) Reef fish communities associated with *Acopora palmata*: Relationships to benthic attributes. *Bulletin of Marine Science* 65(1):235-252.

Lirman D (2000) Fragmentation in the branching coral *Acropora palmata* (Lamarck): growth, survivorship, and reproduction of colonies and fragments. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 251: 41-57.

Lirman D (2000b) Lesion regeneration in the branching coral *Acropora palmata*: effects of colonization, colony size, lesion size, and lesion shape. *Marine Ecology Progress Series* 197: 209-215.

López-Valerio EM (2012) Porcentaje del coral ocupado por macroalgas y composición de macroalgas sobre *Acropora palmata* en Quintana Roo. Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. 98 pp.

McClanahan TR, Donner SD, Maynard JA, MAcNeil MA, Graham NAJ, et al. (2012) Prioritizing Key Resilience indicators to Support Coral Reef Management in a Changing Climate. *Public Library of Science ONE* 7 (8):e42884.

McCook LJ, Jompa J, Díaz-Pulido, G (2001) Competition between corals and algae on coral reefs: a review of evidence and mechanisms. *Coral Reefs* 19: 400-417.

Meesters EH, Noordeloos M, Bak RPM (1994) Damage and regeneration: links to growth in the reef-building corals: *Montastreae annularis*. *Marine Ecology Progress Series* 112:119-128.

Mumby PJ (2009) Herbivory versus corallivory: are parrotfishes good or bad for Caribbean coral reefs? *Coral Reefs* 28:683–690.

Muñoz-Chagín RF (1997) Coral transplantation program in the Paraiso coral reef, Cozumel Island, México. In: Lessios HA, MacIntyre IG (eds). *Proceedings of the 8th International Coral Reef Symposium, Panamá*. 2: 2075-2078.

Nakamura R, Ando W, Yamamoto H, Kitano M, Sato A, Nakamura M, Kayanne H, Omori M (2011) Coral mass-cultured from eggs and transplanted as juveniles to their native, remote coral reef. *Marine Ecology Progress Series* 436:161-168

Nava-Martínez GG (2011) Establecimiento de vivero y sitios de restauración de *Acropora palmata* con participación comunitaria en el Parque Nacional Arrecifes de Xcalak (PNAX). Programa de Liderazgo SAM. *Oceanus AC* 24 pp.

Okamoto M, Roeroe KA, Yap M, Lalamentic LTh X, Fujiwara S, Oyamada K (2012) Experimental transplantation of coral using sexual reproduction in Manado, Indonesia. *Proceedings of the 12th International Coral Reef Symposium*, Cairns, Australia 9-13.

Omori M (2005) Success of mass culture of *Acropora* corals from egg to colony in open water. *Coral Reefs* 24:563.

Oren U, Benayahu Y, Y Loya (1997) Effect of lesion size and shape of regeneration of the Red Sea coral *Favia favaus*. *Marine Ecology Progress Series* 146: 101-107.

Oren U, Benayahu Y, Lubinevsky H, Y Loya (2001) Colony integration during regeneration in the stony coral *Favia favaus*. *Ecology* 82: 802-813.

Oviedo ME (2011) Viabilidad de trasplantes de coral cuerno de alce *Acropora palmata* (*Lamarck 1816*) en el parque nacional natural Tayrona, Caribe colombiano. Universidad Nacional de Colombia. Santa Marta, DTCH, Colombia 47 pp.

Padilla C, Lara M, García C (1990) Crecimiento y regeneración de *Acropora palmata* en Puerto Morelos. Quintana Roo, México. Institución de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, Puerto Morelos. Quintana Roo, México. FALTA número de pp.

Padilla SAC (1996) Demografía y Dinámica poblacional de *Acropora palmata* en Quintana Roo, México. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias UNAM 145 pp.

Petersen D (2001) Methods to enhance sexual recruitment for restoration of damaged reefs. *Bulletin of Marine Science* 69(2):984-1000.

Petersen D (2008) The role of sexual coral reproduction in captive population management (Review). *Public Aquarium Husbandry Series* 2:319-323.

Porter JW, Meier OW (1992) Quantification of loss and change in floridian reef coral populations. *American Zoologist* 32: 625-640.

Precht WF, Bruckner AW, Aronson RB, Bruckner RJ (2002) Endangered *Acroporid* corals of the Caribbean. *Coral Reefs* 21: 41-42.

Precht WF, Robbart M (2006) Coral Reef Restoration: The Rehabilitation of an Ecosystem under Siege 1-20 pp. En: (ed) Precht WF et al. *Coral Reef Restoration Handbook*. Taylor y Francis, USA. 354 pp.

Putchim L, Thongtham N, Hewett A, H Chasang (2008) Survival and growth of *Acropora* sp. in mid-water nursery and after transplantation at Phi Phi Islands, Andaman Sea, Thailand. *Proceeding of the 11th International Coral Reef Symposium* 1258-1261.

Quinn NJ, BL Kojis (2012) Natural resilience of coral Reef Ecosystems. En: (ed) Precht WF et al. Coral Reef Restoration Handbook. Taylor y Francis, USA.61-76 p.

Raymundo LJ, Couch CS, CD Harvell (2008) Coral disease handbook. Guidelines for assessment, Monitoring and Management. Coral Reef Targeted Research 121 pp.

Reynaud S, Ferrier-Pagès C, Boisson F, Allemand D y RG Fairbanks (2004) Effect of light and temperature on calcification and strontium uptake in the scleractinian coral *Acropora verwey*. Marine Ecology Progress Series 279:105-112.

Rodríguez-Martínez RE, Banaszack AT, Mcfield MD, Beltran-Torres AU, L Álvarez-Filip (2014) Assesment of *Acropora palmata* in the Mesoamerican Reef System. Public Library of Science ONE 9(4):e96140.

Rogers CS, Garrison G, Grober R, Hills ZM, MA Frank (1994) Coral Reef Monitoring Manual for the Caribbean and Western Atlantic. National Park Service, Virgin Islands National Park 114 pp.

Rogers CS, TH Suchanek, Pecora FA (1982) Effects of Huricanes David and Frederic (1979) on shallow *Acropora palmata* reef communities: St. Croix, U.S. Virgin Islands. Bulletin of Marine Science 32 (2): 532-548.

SAGARPA (2014) Investigadores de INAPESCA avanzan en la recuperación de arrecifes del Caribe Mexicano. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/2012/Paginas/2014B865.aspx>

Santodomingo N, Rodríguez-Ramírez A, J Garzón-Ferreira (2002) Territorios del pez *Stegastes planifrons* en formaciones coralinas del Parque Nacional Natural Tayrona, Caribe colombiano: un panorama general. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras 31: 65-84.

Sandin SA, Smith JE, Demartini EE, Dinsdale EA, Donner SD, et al (2008) Baselines and Degradation of Coral Reefs in the Northern Line islands. Public Library of Science ONE 3 (2): e1548.

Schopmeyer SA, Lirman D, Bartels E, Byrne J, Gilliam DS, Hunt J, Johnson ME, Larson EA, Maxwell K, Nedimyer K, C Walter (2012) In Situ Coral Nurseries serve as Genetic repositories for Coral Reef Restoration after an Extreme Cold-water event. Restoration Ecology 20 (6): 696-703.

Schuhmacher H (1978) Arrecifes coralinos. Su extensión, mundo animal y ecología, Ediciones Omega S.A. Barcelona 283 pp.

Servicio Academico de Meteorología y Oceanografía- Unidad Académica de Sistemas Arrecifales. Puerto Morelos, ICML, UNAM.

Shafir S, Jaap VR, B Rinkevich (2006) Steps in the construction of underwater coral nursey, an essential component in reef restoration acts. Marine Biology 149: 679-687.

Silverstein R (2012) The importance of the Rare: The Role of Background Symbiodinium in the Response of Reef Corals to Environmental Change. Open Access Dissertations, paper 910.

Soong K, T Chen (2003) Coral Transplantation: Regeneration and Growth of *Acropora* fragments in a Nursey. *Restoration Ecology* 11(1):62-71.

Stoddart DR (1969) Post-hurricane changes on the British Honduras reef and cays: Re-survey of 1965. *Atoll Research Bulletin* 13:1-25.

Szmant AM (1986) Reproductive ecology of Caribbean coral reefs. *Coral Reefs* 5 (1):43-53.

Corrientes superficiales pertenecientes al sitio Las Cuevas. UNIMAR (2014)

Villanueva RD, Baria BV, De la Cruz D (2012) Growth and survivorship of juvenile corals outplanted to degraded reef areas in Bolinao-Anda Reef Complex, Philippines. *Marine Biology Research* 8:9 877-884.

Wilkinson C (2008) Status of coral reefs of the world: 2008. Global Coral Reef, Monitoring Network and Rainforest Research Centre, Townsville, Australia 296 pp.

Wittenberg M, W Hunte (1992) Effects of eutrophication and sedimentation on juvenile corals. Abundance, mortality and community structure. *Marine Biology* 112: 131-138.

Zimmer B (2006) Coral Reef Restoration: An Overviw. En: (ed) Pretch WF Coral Reef. Restoration Handbook 363 pp.