



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

ESCUELA DE BIOLOGÍA

TÍTULO DE LA TESIS

**"Características de crecimiento del coral *Pavona clavus*
(Dana, 1848) y el efecto de la temperatura del mar
superficial en su tasa de calcificación, en la Isla de la Plata,
Ecuador"**

Tesis que para obtener el título de

LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

PRESENTA:

Nancy Bibiana Pérez Silva

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Juan Pablo Carricart-Ganivet

Asesor Externo:

Dra. Nancy Cabanillas Terán



Marzo, 2016

Al tiempo por darme tiempo

Como las nubes, nadie se queda en ningún sitio para siempre (Martín Gaité)

Agradecimientos.

A mi tutor de tesis Juan Pablo Carricart Ganivet por todo su apoyo, orientación, enseñanzas y su paciencia durante el desarrollo de este proyecto.

A mi asesor Israel Cruz Ortega por su tiempo y dedicación, por confiar y tener paciencia a lo largo de la realización del proyecto.

A Nancy Cabanillas Terán por su apoyo y recomendaciones en el proyecto.

Al la beca otorgada por PAPIIT, dentro del proyecto IN209014-3 “Efecto de la luz azul de la luna y el sexo en las bandas de distinta densidad y parámetros de crecimiento en esqueletos de corales hermatípicos”.

A todo el personal de la Unidad Académica de Sistemas Arrecifales, Unidad Puerto Morelos, UNAM; por facilitar las instalaciones y servicios.

A los miembros del laboratorio Israel, Gaby, Alexis, Luis David, Serguei, Sac, Axa, Araceli, Javier, Alba, Adam y al Dr. Lorenzo Alvarez-Filip.

Dedicatoria.

A mi familia y a los muchos amigos que me alentaron, me apoyaron en estos últimos años.

Índice

Introducción.....	1
Justificación.....	9
Descripción de la especie.	10
Objetivos	11
General	11
Particulares.....	11
Material y Métodos.....	12
Área de estudio.....	12
Obtención de muestras.....	13
Corrección de imágenes.....	13
Obtención de datos.....	15
Resultados y Discusión.....	17
Conclusión.....	31
Referencias.....	32

Resumen.

En las últimas cuatro décadas, hemos sido testigos de un alarmante incremento a nivel global de la temperatura del mar superficial (TMS), debido a un aumento vertiginoso de la concentración de CO₂ atmosférico, muy por encima de los niveles pre-industriales, causado por la quema de hidrocarburos fósiles para la generación de energía. Este factor tiene un gran impacto en la tasa de calcificación de los corales hermatípicos y, por lo tanto, en el crecimiento de los mismos.

Ante la situación planteada, se utiliza la técnica de densitometría óptica, para calcular las características de crecimiento del coral hermatípico *Pavona clavus* y su relación con el aumento de la temperatura del mar superficial (TMS). Los resultados muestran que, al igual que en otras especies, la tasa de calcificación de este coral se ve afectada significativamente con el aumento de la TMS, por lo que el crecimiento de uno de los corales formadores de arrecifes para el Ecuador, podría verse afectado en el futuro.

Introducción

Los corales escleractinios son organismos pertenecientes al Filo Cnidaria que se caracterizan por tener un exoesqueleto de carbonato de calcio (CaCO_3) en la forma cristalina de aragonita, ser diblásticos, contar con estructuras urticantes llamadas cnidocitos, una simetría radial, un eje oral-aboral, tentáculos, una cavidad gastrovascular derivada del endodermo y ectodermo (Spalding *et al.* 2001). Son sésiles y carnívoros, pero algunos tienen algas intracelulares simbiotas en su tejido gastrodérmico, conocidas como zooxantelas y que pertenecen al género *Symbiodinium*, que les confieren características autótrofas (Spalding *et al.* 2001; Brusca y Brusca 2005). Tienen una distribución que abarca hábitats marinos someros y profundos, tanto en zonas tropicales como polares (Häussermann 2009).

En la simbiosis coral-alga, el coral consigue nutrientes como glicerol, carbono, glucosa, alanina y oxígeno que favorece el crecimiento coralino (Muscatine y Cernichiari 1969; Land *et al.* 1974, Muscatine 1976); por otro lado, el alga se beneficia obteniendo nitrógeno y fosfato necesarios para realizar la fotosíntesis, resultado del proceso metabólico del pólipo y con ello ambas formas de vida se ven beneficiadas (Muscatine y Porter 1977).

Los corales llegan a construir grandes estructuras conocidas como arrecifes coralinos; si cuentan con las condiciones adecuadas en el ambiente. Estas formaciones se dan por el crecimiento y la acumulación del exoesqueleto calcáreo de los corales (Veron 2000; Spalding *et al.* 2001). Se encuentran principalmente en regiones tropicales, aunque algunos se localizan en los subtrópicos (Spalding *et al.* 2001).

Estos ecosistemas poseen gran importancia biológica pues son los más diversos y productivos del planeta, la gran cantidad de especies vegetales y animales que albergan interaccionan de manera muy compleja; los arrecifes funcionan como

áreas de desove, crianza, refugio y alimentación de una amplia variedad de organismos (Hixon 2015).

De manera global, los arrecifes coralinos proveen beneficios y servicios por más de 30 mil millones de dólares americanos al año, a través de actividades como la pesca y turismo, con una tolerancia de al menos 500 millones de personas del mundo (ISRS Consensus Statement on Climate Change and Coral Bleaching, 2015); las actividades derivadas del turismo, de acuerdo con la Organización Mundial del Turismo estima un ingreso alrededor de 5,000 millones de dólares americanos anuales a nivel global. En el caso del Caribe, entre mil y dos mil millones de dólares, pertenecen a este sector (WTO 2001; Burke *et al.* 2011; Burke y Maidens 2005); por otro lado, ofrecen beneficios sociales, ya que aproximadamente quinientos millones de personas dependen de los arrecifes de coral para obtener comida, protección costera ante tormentas tropicales y huracanes (Spalding *et al.* 2001; Álvarez-Filip y Bonilla-Moheno 2007), así como recurso de material de construcción (Wilkinson y Souter 2008); fuente de materiales para joyería; además, son ricos en productos químicos y farmacéuticos (Burke y Maidens 2005; Carballo *et al.* 2010).

Los arrecifes de coral son ecosistemas especialmente vulnerables a diferentes amenazas, tanto a nivel local, como global, ya que presentan una habilidad limitada de adaptación a cambios drásticos (Bruno y Selig 2007; Goreau y Hayes 1994), como la temperatura (Jokiel y Coles 1977), la luz (Dubinsky *et al.* 1984; Falkowski *et al.* 1984), el nivel del mar (Chappell 2015), los huracanes y tormentas (McCook 1999; Smith *et al.* 2001), la erosión (Sheppard *et al.* 2002) y el exceso de nutrientes (Hallock y Schlager 1986).

De manera local encontramos amenazas como la pesca y sobrepesca, la contaminación y las descargas de ríos, entre otros. Las artes de la pesca como “la técnica de arrastre”, método utilizado a nivel industrial y considerado destructivo, por no discriminar entre especies, se lleva algunas en peligro de extinción; esto se

ve reflejado en la disminución de las poblaciones de peces; al igual destruye los hábitats como los arrecifes coralinos (Sommer 2005), este método resulta negativo además porque reduce las poblaciones de crustáceos, moluscos y peces arrecifales que se alimentan principalmente de algas, permitiendo la proliferación algal y causando la muerte de los corales y el desequilibrio en el ecosistema (Olivier 1978; Rosenberg *et al.* 2008).

Por otro lado, la contaminación de los ambientes marinos se generan por los más de 2.3 millones de toneladas de contaminantes derivados del petróleo al año, 6.5 ton. de basura sólida y 11 ton. de desechos industriales, 300 ton. de aguas de alcantarillado y 13.5 ton. de descargas fluviales que se arrojan directamente al océano, perturbando su equilibrio (Tolba 1992). La alta concentración de nutrientes en el ambiente acuático por aguas residuales, tratadas y escurrimientos de zonas agrícolas (Oller-Arlandis 2012) incorporan diferentes contaminantes químicos y microbiológicos (Torres-Alvarado y Calva-Benítez 2012) lo que favorece la concentración de fosfato, nitrato, amoníaco y carbono orgánico disuelto causando el deterioro de los arrecifes (Hoegh-Guldberg 1999; Rosenberg *et al.* 2008).

De manera global, el incremento de las actividades humanas en los últimos 50 años están relacionadas con el cambio climático, debido principalmente a emisiones de gases de efecto invernadero (Barboza-Lizano 2013), de los cuales se destaca el CO₂, gas que por naturaleza absorbe las ondas infrarrojas provenientes de la luz solar siendo la fuente de calor para la atmósfera manteniendo la temperatura media en ~15°C, por lo que todos los gases deben de estar en equilibrio con la atmósfera (Martins de Freitas 2011). Se estima que el CO₂ es el principal responsable del ~55% del aumento radiactivo a partir de la revolución industrial (Jenkinson *et al.* 1991; Albright y Mason 2012). Se prevé que a finales del siglo XXI la temperatura de la atmósfera aumente de 1 a 3.5°C y entre 10 a 25 cm el nivel del mar (Watson *et al.* 2001), lo que provocaría un aumento equivalente a 1°C por siglo en la temperatura del océano (Hughes 2000).

Debido al incremento de CO₂ en la atmósfera, el océano ha absorbido el 25-30% del CO₂ emitido por las actividades humanas (Drenkard *et al.* 2013), modificando el equilibrio químico del CO₂ en el mar (Bianucci 2004), ya que se desajusta la concentración de carbonato (CO₃²⁻), bicarbonato (HCO₃⁻), ácido carbónico (H₂CO₃) y gas disuelto (pCO₂) dando como resultado un aumento en la concentración de iones de H⁺ y una disminución en los iones de carbonato requerido para la construcción del esqueleto calcáreo de los corales (Doney *et al.* 2009; Mumby *et al.* 2014); las proyecciones indican que para finales de este siglo se tenga una reducción de pH de 0.5 unidades (Mumby *et al.* 2014).

Los impactos que se han presentado hasta ahora por el aumento de temperatura, debido a las actividades antropogénicas en el océano van desde procesos biológicos marinos, la alteración en la dinámica de red de alimentos, la reducción de la abundancia y distribución de especies (Peterson *et al.* 2001).

En los arrecifes coralinos se ha vinculado con la aparición, incidencia e intensidad de síndromes y enfermedades coralinas en las últimas cuatro décadas (Hoegh-Guldberg 1999; Croque y Bone 2003). Las enfermedades coralinas se consideran como uno de los factores más importantes en la pérdida rápida de tejido coralino, ya que las colonias coralinas son menos aptas para combatir enfermedades cuando están estresadas por las altas temperaturas (Gil-Agudelo *et al.* 2009), siendo un aspecto crítico en ambientes arrecifales en las últimas décadas (Sutherland *et al.* 2004).

A medida que los océanos se calientan y se acidifican traen repercusiones en la reproducción sexual coralina (Ritson-Williams *et al.* 2009), afectando la talla y el volumen de las células sexuales. Así mismo, afecta la liberación de gametos (desove) a la columna de agua ya que es de manera sincrónica, durante la época cálida (Harrison *et al.* 1984) y en presencia de la luna llena y/o nueva (Kojis y Quinn 1981), esta estrategia aumenta la producción de plánulas, a la herencia materna de las zooxantelas a las plánulas, por lo tanto se considera que la

temperatura y la química del agua tienen una gran influencia en el ciclo reproductivo de los corales (Harrison 2011; Chávez-Romo y Reyes-Bonilla 2007).

Uno de los fenómenos que ha tomado mayor importancia en las últimas cuatro décadas en los corales formadores de arrecifes es el blanqueamiento coralino (Buddemeier y Fautin 1993). A nivel mundial se tienen registros de los eventos más fuertes de blanqueamiento que han sido en los años de 1983, 1987, 1991, 1995 y 2015 en todas las áreas tropicales de los océanos Pacífico Indico, así como en el Mar Caribe (Westmacott *et al.* 2000). Los corales, ante eventos de blanqueamiento, responden de distintas maneras, que incluyen la pérdida y/o el pigmento del simbionte del tejido coralino, debido principalmente al incremento de la temperatura (Brown 1996), intensidad de la luz, reducción de la salinidad, contaminación, (Hoegh-Guldberg 1999; Loya *et al.* 2001); el blanqueamiento puede detener parcial o completamente el crecimiento de los corales (Carricart-Ganivet 2011).

El crecimiento coralino es el proceso de formación del esqueleto a través de la calcificación y se ve reflejado en el bandeo de distinta densidad; sin embargo, se considera que factores endógenos como la reasignación de energía para la reproducción (Wellington y Glynn 1983), protección y recuperación de tejido (Cabral-Tena *et al.* 2013); así como factores ambientales como el aumento de temperatura, acidificación (De'ath *et al.* 2009), disminución de nutrientes, estrés lumínico, sedimentación, enfermedades, competencia y depredación, pueden afectar el crecimiento (Kleypas *et al.* 1999; Knowlton 2001; Sutherland *et al.* 2004).

Knutson y colaboradores (1972) encontraron un patrón de crecimiento anual, en forma de pares de bandas de baja y alta densidad, en los esqueletos de corales masivos del atolón de Eniwetok, en el Pacífico central y en la Isla Fanning y Fort Lauderdale, en Florida. Posteriormente se estableció que las bandas de alta densidad corresponden a altas temperaturas, mientras que las bandas de baja densidad a bajas temperaturas superficiales del océano (Wellington y Glynn 1983;

Carricart-Ganivet *et al.* 2000; Charry *et al.* 2004). Dodge y Brass (1984) confirmaron el patrón de bandas que tiene el crecimiento esquelético anual en el coral *Orbicella annularis*, por medio de radiografías y densitometría (Helmle *et al.* 2000). Las características de crecimiento se obtienen del bandeo de distinta densidad son: densidad anual (g cm^{-3}), tasa de extensión anual (cm año^{-1}) y tasa de calcificación anual ($\text{cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$) (Carricart-Ganivet y Merino 2001). Esta información puede ser usada como registros proxy de los océanos, permitiendo conocer las condiciones bajo las cuales se llevó a cabo el crecimiento (Calderon-Aguilera *et al.* 2002; Carricart-Ganivet 2011) dando la oportunidad de hacer proyecciones en el futuro.

Actualmente existen varios trabajos que registran el efecto que tienen la temperatura sobre los arrecifes de coral a nivel mundial; Cooper y colaboradores (2008) estudiaron en un periodo de 16 años las características de crecimiento esquelético en colonias del género *Porites* en la Gran Barrera Arrecifal, donde registran que una disminución en densidad de 0.36 %, en extensión de 1.02% y 1.29 % en la tasa de calcificación anual se debe a un incremento en la temperatura promedio óptima.

Los trabajos de De'ath y colaboradores (2009) con colonias de corales masivos de *Porites* en la Gran Barrera Arrecifal, investigaron las consecuencias del efecto sinérgico con la temperatura y el aumento del dióxido de carbono en el océano en las características de crecimiento, obteniendo una disminución del 11.4 % (De'ath *et al.* 2013) en la calcificación; de igual manera una disminución en la extensión de 13.3 % desde 1990.

En gradientes ambientales, Carricart-Ganivet (2004) analizó la relación entre la TSM y las características de crecimiento de la especie *Orbicella annularis* en el Caribe y sur del Golfo de México, donde registró que la tasa de calcificación y la densidad esquelética aumentaron con 1°C de temperatura por arriba de la temperatura promedio en cada región. Por otro lado. Carricart-Ganivet *et al.* (2012)

registraron, a través de la técnica de densitometría óptica (Carricart-Ganivet y Barnes 2007), la reducción de la tasa de calcificación en el género *Porites spp.* en la Gran Barrera de Coral y de *Porites astreoides*, *Orbicela faveolata*, y *O. franksi* en el Arrecife Mesoamericano, asociado al estrés térmico con el calentamiento del océano. Destacan una disminución de $0.40 \text{ g cm}^{-2} \text{ años}^{-1}$ en la calcificación para las especies del género *Porites* en ambos sitios; mientras que el género *Orbicella spp.* mostró una disminución de $0.12 \text{ g cm}^{-2} \text{ años}^{-1}$ y proponen un escenario para el 2100 de cero en la tasa de calcificación para *Porites spp.* y -40% en *Orbicela spp.* con repercusiones ecológicas significativas.

En el caso del Pacífico Oriental, se ve afectado particularmente por la corriente cálida conocida como “El Niño”; donde ocurre un cambio en el patrón de corrientes en el Pacífico Ecuatorial del norte, que transporta aguas superficiales tropicales y cálidas desde Indonesia hacia la costa Americana (Wyrski et al. 1976; Meyers y Donguy 1984) lo que incide en un desequilibrio de los ecosistemas marinos (Guzmán y Cortes 1993; Onuma *et al.* 2012). Las consecuencias se ven reflejadas de manera global, ya que se produce una alteración en el patrón de la presión atmosférica, cambios en la dirección y velocidad del viento; mientras que a nivel local, aumenta la humedad en el Pacífico Este y centro ecuatorial; también provoca sequía en Indonesia y abundantes precipitaciones en California, USA, parte oriental de África ecuatorial y en la zona este del Ecuador (Sánchez *et al.* 1998; Manahan *et al.* 2007).

Durante las últimas décadas los arrecifes han sido afectados por este fenómeno, hasta ahora se han registrado 3 eventos importantes: 1982-1983, 1997-1998 y actualmente, catalogado como el más fuerte de la historia, 2015-2016 (<https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/july-2015-el-ni%C3%B1o-update-bruce-lee>, consultado el 5 de noviembre de 2015). Ha habido otros eventos moderados, según la base Oceánica del Niño (ONI) (Cuadro 1). El fenómeno del Niño ha provocando eventos masivos de blanqueamiento coralino con pérdidas, de más del 50%, en arrecifes coralinos del Pacífico Este (Fisk y Done 1985;

Guzmán *et al.* 1987, Glynn 1997), en las Islas Galápagos (26.2%), en el Golfo de Chiriquí (13.1%), en las costas de Ecuador (7.0%) (Glynn *et al.* 2001) y hasta un 90% en el Océano Indico (Spalding *et al.*, 2001).

Por otro lado Norzagaray-López y colaboradores (2013) registraron una disminución en las características de crecimiento para la especie de coral *Porites panamensis* en Islas Marieta, donde presentó un crecimiento ~50% menor relacionado a otros sitios. Donde las características de crecimiento como la tasa de crecimiento fueron menores un .35%, y la calcificación un 40.98%. Exponen una reducción de CaCO₃ debido a la acidificación de los océanos, dando pie a una acelerada degradación de estructuras arrecifales por factores físicos y bioerosión.

Cuadro 1. Eventos Registrados de El Niño y La Niña. Base de datos de ONI.

El Niño				La Niña		
Débil	Moderado	Fuerte	Intenso	Débil	Moderado	Fuerte
1951-52	1963-64	1957-58	1982-83	1950-51	1955-56	1973-74
1952-53	1986-87	1965-66	1997-98	1954-55	1970-71	1975-76
1953-54	1987-88	1972-73		1964-65	1998-99	1988-89
1958-59	1991-92			1967-68	1999-00	2010-11
1968-69	2002-03			1971-72	2007-08	
1969-70	2009-10			1974-75		
1976-77				1983-84		
1977-78				1984-85		
1979-80				1995-96		
1994-95				2000-01		
2004-05				2011-12		
2006-07						

Glynn y colaboradores (1988) observaron una extensa mortalidad en la región tropical del Pacífico oriental durante el evento El Niño 1982-1983 en los picos debido a las alta temperatura del mar superficial (25.65-29.34°C), los arrecifes coralinos de las Islas Galápagos fueron los más afectados con una mortalidad de 97.0% seguido del Golfo de Panamá con 84.7%. Al igual lo corrobora en su trabajo de 1990 que en el periodo del Niño de 1982-83 en el Pacífico oriental, las Islas Galápagos fue la más afectado con una mortandad de >95%, Panamá y Colombia

con un promedio del 80%, lo que limita el crecimiento y la diversidad de los arrecifes coralinos. Por otro lado, Jiménez y colaboradores (2001) se registran una mortalidad del 5.7% y un blanqueamiento del 32.4% en la especie *Pavona clavus* en la costa del Pacífico de Costa Rica, siendo de las especies afectadas por el blanqueamiento; recalcan un aumento de temperatura de hasta 2.4°C en una profundidad ~7m entre los meses de Mayo 1997 a Diciembre 1998. Colgan (1990) destaca una lenta recuperación de los arrecifes coralinos del Pacífico central oriental debido a la frecuencia e intensidad de los eventos del El Niño, lo que induce a una disminución en el tamaño y riqueza de los corales escleractinios de estos arrecifes.

Justificación.

Pavona clavus es una de las principales especies formadoras de arrecifes coralinos en el Pacífico oriental, que brinda servicios ambientales a la sociedad cercana a las costas, pero en las últimas cuatro décadas se ha registrado un aumento en la temperatura del mar superficial (TMS) en el Pacífico, llevando a una disminución del crecimiento en las especies coralinas de esta región (Norzagaray *et al.* 2013), provocando el deterioro de los ecosistemas arrecifales.

Para estudiar las características del crecimiento de *P. clavus*, el área de estudio que se escogió es la Isla de la Plata, Ecuador, perteneciente al Parque Nacional Machalilla; es un área protegida, con pocas actividades humanas, permitiendo obtener datos más claros que tienen los efectos naturales en el crecimiento.

Descripción de la especie.

Pavona clavus (Dana, 1846) pertenece a la clase Anthozoa, orden Scleractinia de la familia Agariciidae. Este coral tiene una amplia distribución por todo el Pacífico Oriental (Cortés 1997). Son formadores de arrecifes ya que tienen la capacidad de crear grandes estructuras de hasta 10 m de diámetro y 5 m de alto. Presenta un crecimiento lineal de 0.52 hasta 1 cm año⁻¹ (Guzmán y Cortés 1989). Las colonias presentan crecimiento columnar, masivo o laminar con una amplia distribución; la coloración puede ser gris, crema o café (Fig. 1A). Presenta cálices (2.5 a 3.5 mm), con septos compartidos que dan aspecto de estrella, los coralitos tienen paredes gruesas bien definidas (Fig. 1B) y el esqueleto es poroso (Fig. 1C) (Cortés y Guzmán 1998; Veron 2000).

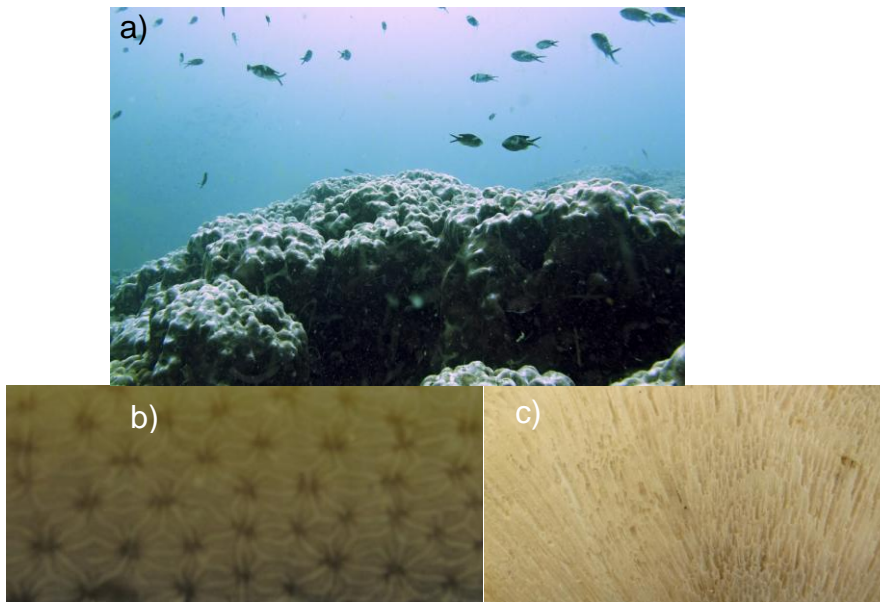


Figura 1. (a) Colonia de *Pavona clavus* en Isla de la Plata, Ecuador, (b) Septos en forma estrellada característica de los coralitos, (c) esqueleto poroso. Fotos tomadas por Israel Cruz-Ortega.

Objetivos

General

Describir las características de crecimiento de *Pavona clavus* y su asociación con la temperatura del mar superficial (TMS) en Isla de la Plata, Ecuador.

Particulares.

1. Con la técnica de densitometría óptica, se busca obtener las características de crecimiento de *P. clavus*: la densidad anual (g cm^{-3}), las tasas de extensión anual (cm año^{-1}) y de calcificación anual ($\text{g cm}^{-2} \text{año}^{-1}$).
2. Comparar los datos de crecimiento obtenidos con los reportados en otros estudios para otros arrecifes del Pacífico oriental.
3. Determinar la relación entre las características de crecimiento.
4. Conocer la relación entre la tasa de calcificación en *P. clavus* y la TMS.
5. Reconocer el posible impacto de el evento El Niño en el crecimiento coralino.

Material y Métodos.

Área de estudio

El Parque Nacional Machalilla es una de las 15 áreas protegidas para Ecuador, este parque fue decretado en 1979 y se encuentra ubicado al suroeste de la provincia de Manabí. Comprende una franja continental de Ecuador, Isla Salango, Isla de la Plata y una franja marítima.

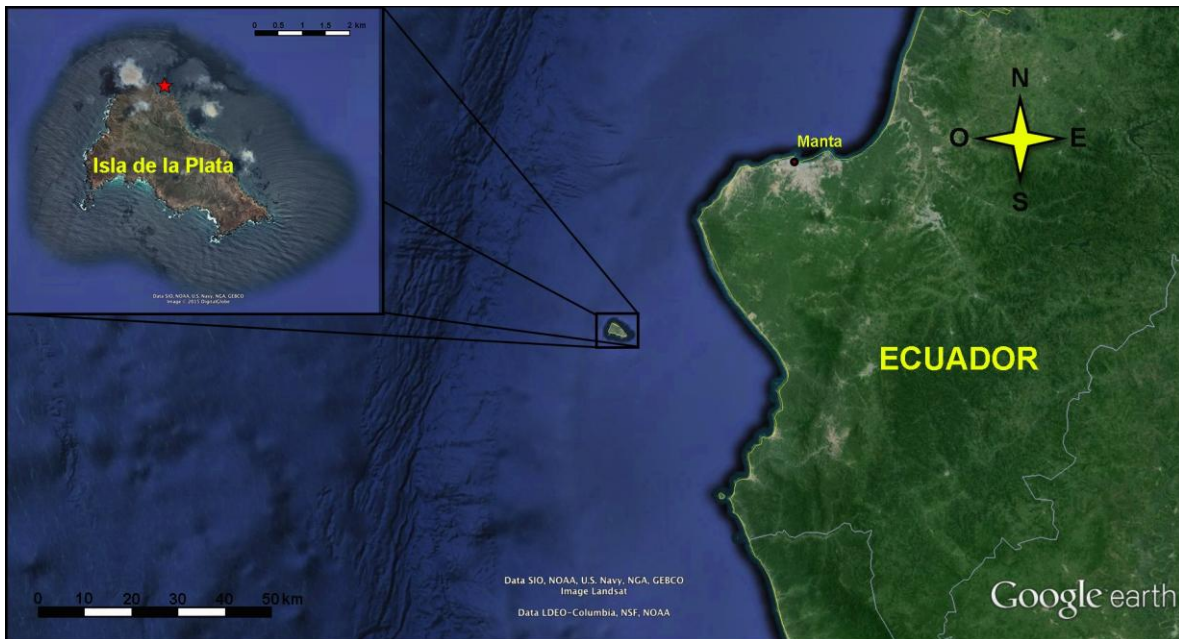


Figura 2. Localización de Isla de la Plata, Ecuador. La estrella roja indica la zona de muestreo. Imágenes de Google Earth.

La Isla de la Plata es producto de los movimientos tectónicos de la plataforma continental y se encuentra situada a 33 millas al suroeste del puerto de Manta y a 13 millas náuticas del punto más cercano a la costa, tiene 5.5 km de largo y 2.8 km de ancho cerca de los 14 km², con una altura de 167 m (Fig. 2). El 40% de la isla tiene vegetación natural, el resto es intervenido. En el lado sur y oeste de la isla existe el registro de arrecifes dominados principalmente por la especie *Pavona clavus* (CPPS 1997).

Obtención de muestras.

Con la ayuda de un cincel y un martillo, se obtuvieron 10 muestras de aproximadamente 15 cm de *P. clavus* de la parte apical de diferentes colonias a una profundidad de ~7 metros en los meses de Octubre del 2013 y Marzo del 2014 en Isla de la Plata (1°15'40.50" S, 81° 4'11.50" O).

Las muestras fueron trasladadas a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador, para cortarlas en lascas de 2.5 cm de grosor, utilizando una sierra de filo diamantado para cortar roca. Posteriormente, en febrero de 2015, se trasladaron a la Unidad Académica de Sistemas Arrecifales Puerto Morelos, del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM. De cada lasca se obtuvieron lascas más delgadas (~7 mm de grosor), que se lavaron y enjuagaron con agua dulce y se dejaron secar por 48 h al sol para poder radiografiarlas.

Cada lasca se radiografió utilizando un equipo radiográfico convencional (GE Hungary Rt. Medical Systems, Modelo Legend 210/9030 Remote Control Table), a una exposición de 63 Kv y 16.0 mAs a una distancia focal de 1.80 m, lo que permitió un mejor contraste de las bandas de alta y baja densidad. En cada radiografía se incluyó una cuña aragonita, obtenida de concha de la almeja gigante *Tridacna máxima*, como estándar para obtener los valores de densidad absoluta en las lascas coralinas (Carricart-Ganivet y Barnes, 2007). Posteriormente, cada radiografía fue digitalizada en imágenes para su posterior análisis.

Corrección de imágenes.

Las imágenes digitalizadas fueron corregidas de dos problemas relacionados con los cambios en la intensidad de la radiación sobre la placa de rayos-X usando la técnica propuesta por Duprey *et al.* (2012): el efecto tacón, que corresponde al gradiente de intensidad a lo largo del eje ánodo-cátodo de la cabeza del equipo, y el gradiente circular causado por la relación inversa de la distancia entre la fuente de rayos-X y la muestra (Marín 2009) (Fig. 3). Después de esto, se midió la densidad óptica a lo largo del eje vertical de crecimiento con el método de

densitometría propuesto por Carricart-Ganivet y Barnes (2007); para obtener el promedio de densidad absoluta (g cm^{-3}) refiriéndose a la cantidad de carbonato de calcio depositado en unidad de volumen, la tasa de extensión anual (cm año^{-1}) como el crecimiento longitudinal durante un periodo de tiempo, y finalmente la tasa de calcificación ($\text{g cm}^{-2} \text{año}^{-1}$) que se obtiene del producto de extensión anual por el promedio de la densidad.

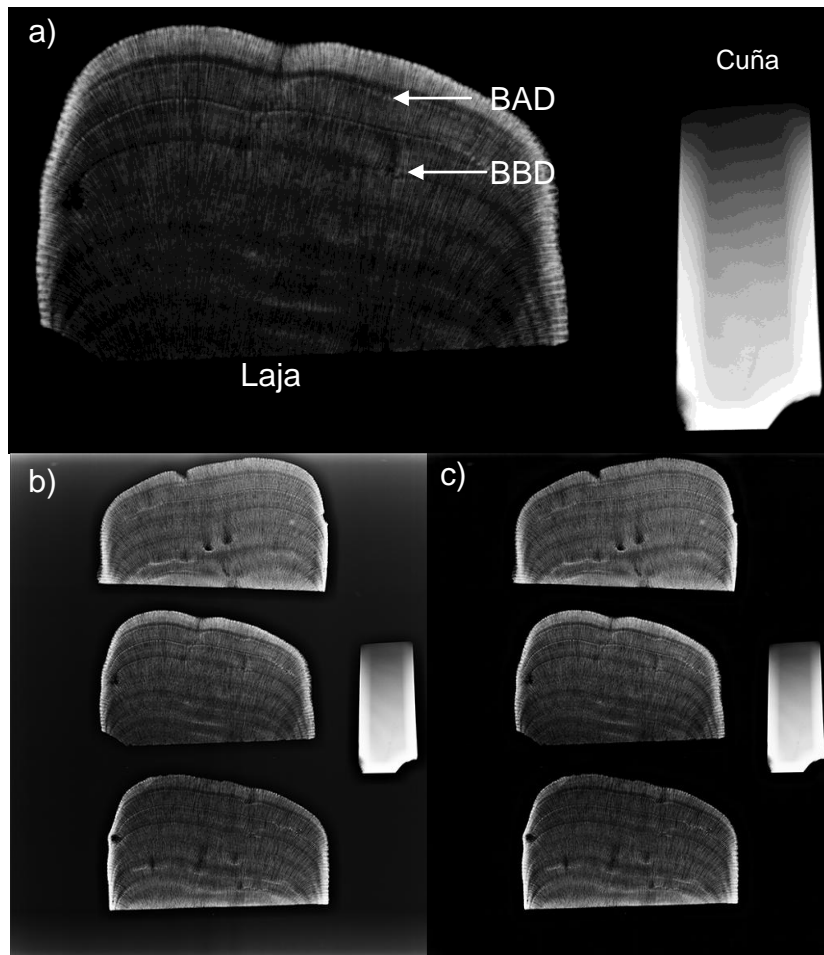


Figura. 3 Imágenes digitales de radiografías que se incluyen lajas del coral *Pavona clavus* y la cuña de aragonita. Observando las bandas de alta densidad (BAD) y bandas de baja densidad (BBD), por otro lado se aprecia el gradiente de densidad en la cuña (a); Imagen antes de ser corregidas por el método de Duprey *et al* (2012) (b), Imagen corregida, donde ya no se aprecian los 2 errores: efecto talón y la relación inversa (c).

Obtención de datos.

Con el software libre Image J (versión 1.44p) se trabajaron las radiografías; considerando que la cuña y el eje de crecimiento máximo de cada laja, deben de seguir el eje ánodo-cátodo para tener valores certeros.

Se identificó el eje de mayor crecimiento para obtener series de valores de densidad absoluta vs. distancia (Fig. 4) mediante la técnica de densitometría óptica para imágenes digitalizadas de Carricart-Ganivet y Barnes (2007). Así, se midieron retrospectivamente el promedio de la densidad (g cm^{-3}) para cada año y la tasa de extensión anual (cm año^{-1}) y se calculó la tasa calcificación anual ($\text{g cm}^{-2} \text{año}^{-1}$).

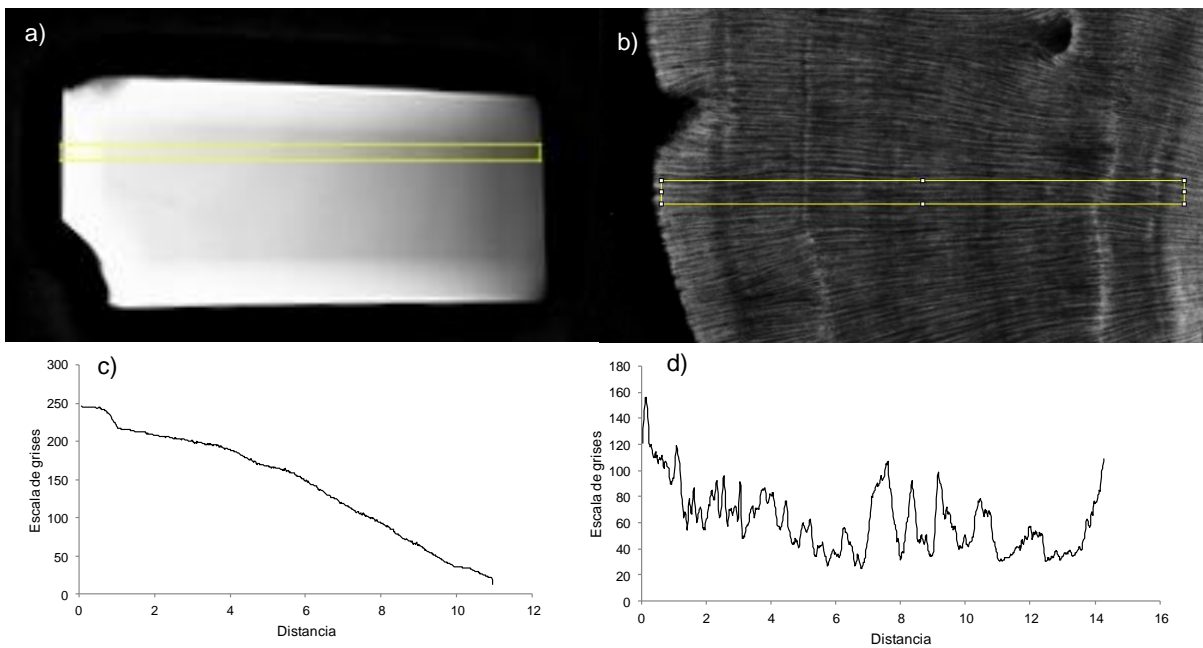


Figura 4. Obtención de datos. (a) Trazo del track de extremo a extremo de la cuña y grafica de los datos de la densidad (c), de igual forma trac de extremo a extremo sobre la laja (b) con su gráfica respectiva del promedio de los valores del trac de la laja (d) en el software Image J (versión 1.44).

Una vez definidos los años en donde se obtuvieron las características de crecimiento (1994 a 2013), se solicitó la base de datos de la temperatura del mar

superficial (TMS) a HadISST, producidos por la Oficina Meteorológica del Reino Unido, los cuales son mediciones diarias vía satelital de un cuadrante con longitud y latitud (1.5S, 80.5W) para obtener promedios anuales.

Análisis estadístico.

Se determinó la relación entre las tres características de crecimiento, así como con el tiempo, mediante análisis de correlaciones simples en el programa SST. Por otro lado, para el patrón de temperatura del mar superficial se realizaron medias corridas de 4 años entre 2013 hasta 1995. Finalmente, para establecer el efecto de la temperatura en el crecimiento de *Pavona clavus*, se realizaron regresiones simples de la tasa de calcificación en función de la TMS.

Resultados y Discusión.

Los promedios anuales de las características de crecimiento para el coral escleractinio *P. clavus* en la Isla de la Plata, Ecuador, en un período de 18 años de 1996 a 2013, son los siguientes: de 0.78 ± 0.12 cm año⁻¹ para la tasa de extensión anual (Cuadro 2), 1.04 ± 0.14 g cm³ para la densidad esquelética (Cuadro 3); por último de 0.80 ± 0.16 g cm⁻²año⁻¹ para la tasa de calcificación (Cuadro 4).

Cuadro 2. Tasas de extensión esquelética (cm año⁻¹) de 1996 a 2013, en 10 muestras de *Pavona clavus* creciendo a 7 m de profundidad en Isla de la Plata, Ecuador. En negrillas se destacan el máximo, mínimo y el promedio de cada laja así como el global.

Año	Pcl 1	Pcl 2	Pcl 3	Pcl 4	Pcl 5	Pcl 6	Pcl 7	Pcl 8	Pcl 9	Pcl10	Promedio
2013						1.15	1.39	0.51	0.44	0.39	0,78
2012	0.83	0.54	0.31	0.36	0.56	0.79	1.49	0.51	0.54	0.49	0,64
2011	0.73	0.58	0.97	0.56	0.44	1.39	1.41	0.46	0.51	0.54	0,76
2010	0.78	0.37	0.61	0.70	0.70	0.88	0.81	0.68	0.48	0.58	0,66
2009	0.76	1.04	0.42	0.78	0.53	1.54	1.10	0.51	0.25	0.59	0,75
2008	0.58	0.51	0.36	0.73	0.44	0.77	1.41	0.54	0.66	0.49	0,65
2007	1.48	0.97	0.81	0.81	0.32	1.00	1.09	0.80	0.31	0.39	0,80
2006	1.34		0.80	0.95	0.61	1.08		0.58	0.36	0.39	0,76
2005	0.95		0.64	1.27	1.17	1.05		0.65	0.46	0.46	0,83
2004	1.51		0.42	1.29	0.64	1.37		0.71	0.42	0.44	0,85
2003	1.19		0.71	1.36	0.58			1.07	0.46	0.56	0,85
2002	1.02		0.76	1.49	1.39			1.04	0.37	0.59	0,95
2001	1.60		0.42	1.19				0.93	0.42	0.58	0,86
2000	0.97		0.66	2.26				0.39		0.49	0,95
1999	1.02			1.61				0.70		0.49	0,95
1998				0.85				0.48		0.32	0,55
1997								1.04		0.64	0,84
1996										0.61	0,61
Promedio	1.05	0.67	0.61	1.08	0.67	1.10	1.24	0.68	0.44	0.50	0.78
D.E.	0.32	0.27	0.20	0.49	0.32	0.26	0.25	0.22	0.10	0.09	0.12

Cuadro 3. Densidad (g cm^{-3}) de 1996 a 2013, en 10 muestras de *Pavona clavus* creciendo a 7 m de profundidad en Isla de la Plata, Ecuador. En negrillas se destacan el máximo, mínimo y el promedio de cada laja así como el global.

Año	Pcl 1	Pcl 2	Pcl 3	Pcl 4	Pcl 5	Pcl 6	Pcl 7	Pcl 8	Pcl 9	Pcl 10	Promedio
2013						0.33	1.34	1.70	1.27	1.43	1,22
2012	1.82	1.97	1.52	2.16	0.85	0.49	1.30	1.24	0.71	0.98	1,31
2011	1.13	1.26	1.43	1.97	0.98	0.57	1.20	1.14	0.91	0.79	1,14
2010	1.09	0.75	1.28	1.49	1.27	0.52	1.12	0.97	0.83	0.92	1,02
2009	1.38	0.96	1.35	1.42	1.25	0.75	1.17	1.29	0.73	0.63	1,09
2008	1.13	0.47	1.17	1.17	1.28	0.80	1.21	1.43	0.86	0.80	1,03
2007	1.20	0.75	1.27	1.28	0.92	0.79	1.24	1.46	0.87	0.89	1,07
2006	1.03		1.31	1.32	0.95	0.83		1.37	0.62	0.76	1,03
2005	1.14		1.34	1.21	1.08	0.93		1.24	0.62	0.85	1,05
2004	1.27		1.21	0.99	1.10	0.93		1.01	0.64	0.88	1,01
2003	1.31		1.35	0.87	1.12			1.16	0.77	1.10	1,10
2002	1.39		1.32	0.77	1.05			1.31	0.86	0.87	1,08
2001	1.31		1.03	1.00				1.26	0.81	0.72	1,02
2000	1.36		1.18	0.51				1.19		1.37	1,12
1999	1.31			0.42				1.27		0.88	0,97
1998				0.81				1.01		0.45	0,76
1997								1.11		0.69	0,90
1996										0.72	0,72
Promedio	1,28	1,03	1,29	1,16	1,08	0,69	1,23	1,24	0,81	0,87	1,04
D.E.	0,19	0,53	0,12	0,48	0,15	0,20	0,08	0,18	0,17	0,24	0,14

Cuadro 4. Tasas de calcificación anual ($\text{g cm}^{-2} \text{año}^{-1}$) de 1996 a 2013, en 10 muestras de *Pavona clavus* creciendo a 7 m de profundidad en Isla de la Plata, Ecuador. En negrillas se destacan el máximo, mínimo y el promedio de cada laja así como el global.

Año	Pcl 1	Pcl 2	Pcl 3	Pcl 4	Pcl 5	Pcl 6	Pcl 7	Pcl 8	Pcl 9	Pcl 10	Promedio
2013						0.38	1.86	0.87	0.56	0.56	0.85
2012	1.51	1.07	0.46	0.77	0.48	0.39	1.94	0.63	0.39	0.48	0.81
2011	0.83	0.73	1.38	1.10	0.43	0.80	1.70	0.52	0.46	0.43	0.84
2010	0.85	0.28	0.78	1.04	0.89	0.46	0.91	0.66	0.40	0.53	0.68
2009	1.05	1.00	0.57	1.11	0.66	1.16	1.29	0.66	0.19	0.37	0.81
2008	0.65	0.24	0.42	0.85	0.57	0.62	1.71	0.78	0.57	0.39	0.68
2007	1.77	0.73	1.03	1.05	0.30	0.78	1.35	1.16	0.27	0.35	0.88
2006	1.38		1.05	1.26	0.58	0.90		0.79	0.22	0.30	0.81
2005	1.08		0.86	1.54	1.26	0.97		0.80	0.28	0.39	0.90
2004	1.92		0.51	1.28	0.71	1.28		0.72	0.27	0.39	0.89
2003	1.56		0.96	1.18	0.64			1.25	0.35	0.62	0.94
2002	1.42		1.01	1.15	1.47			1.36	0.32	0.52	1,04
2001	2.10		0.44	1.19				1.18	0.34	0.42	0.95
2000	1.32		0.78	1.15				0.46		0.67	0.88
1999	1.33			0.68				0.89		0.43	0.83
1998				0.69				0.48		0.15	0,44
1997								1.15		0.45	0.80
1996										0.44	0.44
Promedio	1,34	0,68	0,74	1,07	0,73	0,77	1,54	0,84	0,36	0,44	0,80
D.E.	0.42	0.35	0.30	0.24	0.35	0.32	0.37	0.28	0.12	0.12	0,16

Se encontró que las características de crecimiento de *Pavona clavus* en la Isla de la Plata, Ecuador, se encuentran dentro del rango de variabilidad reportada por otros autores en otras localidades del Pacífico oriental (Cuadro 5).

Cuadro 5. Características de crecimiento reportadas en la literatura para *Pavona clavus*. * = se calcularon a partir de los datos que proporcionan los autores en sus trabajos.

Localidad	Extensión (cm año ⁻¹)	Densidad (g cm ³)	Calcificación (g cm ⁻² año ⁻¹)	Años	Autor
Golfo de Chiriquí	0.93	1.86	1.90*	1979-1980	Wellington y Glynn 1983
Golfo de Panamá	1.32	1.44	1.73*	1979	Wellington y Glynn 1983
Galápagos	0.84-1.74				Glynn y Wellington 1983
Panamá	0.93-1.37				Glynn <i>et al.</i> 1983
Isla Caño, Costa Rica	0.76±0.52			1980-1985	Guzmán y Cortés 1989
Isla de la Plata	0.78±0.12	1.04±0.14	0.80±0.16	1995-2013	Este trabajo

Comparando con el Golfo de Chiriquí y el Golfo de Panamá (Wellington y Glynn 1983), los datos que se obtuvieron en este trabajo representan para la densidad (1.04±0.14 g cm³) una ligera diferencia aproximadamente de 0.40-0.80 g cm³; mientras que para la tasa de calcificación (0.80±0.16 g cm⁻²año⁻¹) . Por otro lado, los resultados de la tasa de extensión (0.78±0.12 cm año⁻¹) difieren (20-60 cm año⁻¹) (Glynn y Wellington 1983; Glynn *et al.* 1983; Guzmán y Cortés 1989).

Esta variabilidad de datos se puede deber a que las zonas de estudio son de características diferentes a la Isla de la Plata, ya que el Golfo de Chiriquí y el Golfo de Panamá presentan niveles de afloramientos anuales que difieren entre las zonas (Glynn *et al.* 1972; Glynn y Stewart 1973; Wellington & Glynn 1983; Torres *et al.* 2003). Se debe de considerar que en el Golfo de Panamá está directamente influenciado por actividades antropogénicas, como el turismo, la extracción de

corales y peces del arrecife, la contaminación por basura sólida (Guzmán *et al.* 1991); caso contrario para la Reserva Biológica Isla del Caño que tiene menor impacto humano ya que presenta actividades turísticas controladas, debido a que cuentan con una ley donde establece que está totalmente prohibido el movimiento de cualquier organismo u objeto marino (Sistema Nacional de áreas de conservación) (Guzmán y Cortés 1989). Para la Isla de la Plata es el mismo caso; ya que se encuentra alejada de la costa, y por lo tanto de la actividad humana.

Es importante resaltar que el tiempo en algunos de los trabajos reportados hasta ahora son mensuales de tan solo un año, a escala pequeña (Wellington & Glynn 1983), mientras que el periodo en este trabajo es anual y retrospectivo por 19 años, lo que representan una mejor precisión para las características de crecimiento. Guzmán y Cortés (1989) en su estudio de 5 años encontraron valores promedios para la extensión similares con los reportados en este trabajo.

Sumado a esto, la diferencia puede deber a los años ellos registran; caso es de Guzmán y Cortés (1989) donde se hace presente el primer evento El Niño fuerte del 1982-83; caso contrario, es para el trabajo de Wellington y Glynn (1983), por lo que nuestros datos coinciden por la presencia del segundo evento intenso de El Niño (1997-98), y de la alta frecuencia de dicho evento en el Pacífico oriental (Jiménez *et al.* 2001). Cabe señalar que se usaron diferentes técnicas para medir las características de crecimiento, lo que se podría considerar como un posible factor que altere los resultados reportados para cada autor.

Otros factores que puede determinar la variación de los datos, son las temperaturas medias que ronda para cada área, en el caso de el Golfo de Panamá está entre 16-23°C, mientras que en la Isla de la Plata es de 24°C (Torres *et al.* 2003); asimismo, se ha visto que el Golfo de Chiriquí y el Golfo de Panamá presentan temperaturas bajas durante el afloramiento (Guzmán *et al.* 1991).

En trabajos de laboratorio se ha observado la importancia de la temperatura (Jokiel y Coles 1977; Hueerkamp *et al.* 2001) donde los corales de forma ramificada resultaron ser más sensibles que las formas masivas, ya que presentan una tolerancia a cambios de la temperatura afectando su crecimiento; en contraste, Clausen y Roth (1975) encontraron que el coral masivo *P. clavus* no presentó signos de recuperación. Esto no coincide con lo observado en este trabajo ya que refleja una recuperación casi inmediata en la calcificación pero de menor magnitud.

La formación de las bandas no solo se debe a variaciones en la temperatura si no que está relacionada con otros factores como cambios en la luz, la reproducción y la disponibilidad de nutrientes (Wellington y Glynn 1983). Otros trabajos sostienen la importancia de la temperatura como el factor principal que modula el crecimiento vertical y la densidad del esqueleto coralino (Brachert *et al.* 2013); asimismo tiene un efecto fundamental en procesos biológicos (Hoegh-Guldberg 2010). Este factor no es el único que influye en el crecimiento coralino: pueden ser los ciclos reproductivos, disponibilidad de nutrientes, turbidez y sedimentación (Coles y Jokiel 1978 ; Barnes y Lough 1993; Cortés *et al.* 2010), la luz (Elizalde-Rendón *et al.* 2010), precipitaciones, salinidad y partículas en suspensión, (Guzmán y Cortés 1989). Otros trabajos analizan el efecto sinérgico con otras variables ambientales; por ejemplo, elevadas temperaturas y niveles de CO₂ impactan tanto en el crecimiento como en la reproducción y procesos post-fertilización (De'ath *et al.* 2009; Albright y Mason 2013). Al igual la temperatura actúa de manera sinérgica con la fotosíntesis y el O₂ (Al Horani 2005); otro ejemplo es con la intensidad de la luz, que permite que se lleve con éxito el crecimiento coralino (Houck *et al.* 1977); por otro lado se menciona que la temperatura determina la precipitación de la aragonita necesaria para la formación de las bandas de densidad en el crecimiento (De'ath *et al.* 2009; Hill 2010), ya que las características de crecimiento son sensibles al estrés ambiental (Drenkard *et al.* 2013).

Asimismo, se analizaron las características de crecimiento en el tiempo, presentando mayor interés en los años de 1997-1998, fecha del segundo evento más intenso de El Niño (Capel-Molina 1998). Se confirmó que, para dichos años, las características de crecimiento presentan una caída, debido al aumento de la temperatura (Fig. 5); lo que coincide con los trabajos tanto en el Pacífico para la especie *Porites panamensis* (Norzagaray-López et al. 2013) como en la Gran Barrera Arrecifal reportando una caída del 20% al norte (Cooper et al. 2008), 14% en toda la zona (De'ath et al. 2013) y 20% en el arrecife Rib; y el Golfo de México (Carricart-Ganivet et al. 2004), recalcando el efecto que dio a causa del evento El Niño, ya que el aumento de la temperatura fue significativo, saliéndose del óptimo y provocando el descenso del crecimiento del coral. Algunos trabajos en campo sugieren que si la temperatura del océano se mantuviera cerca del óptimo, el crecimiento coralino sería mayor.

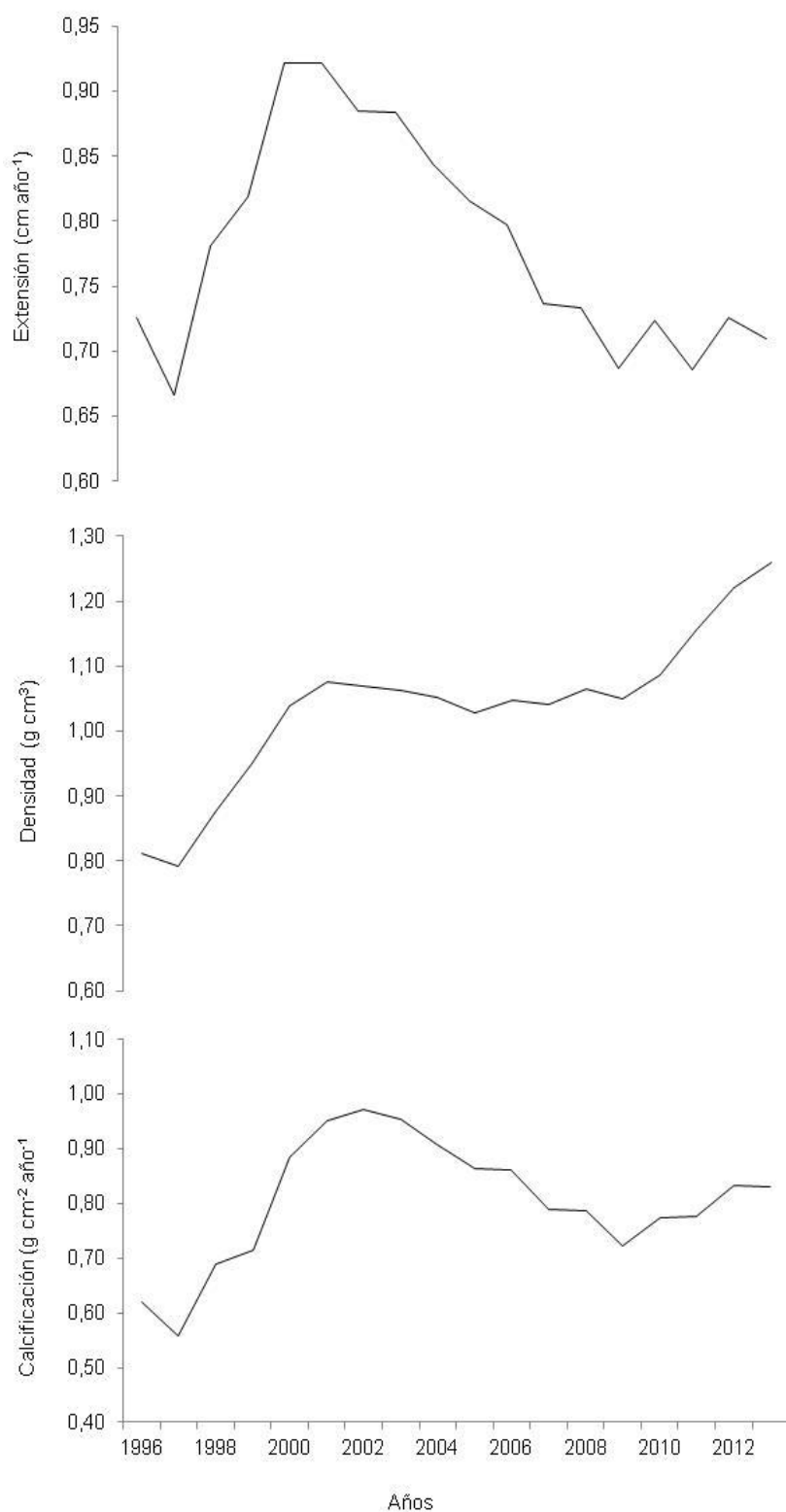


Figura 5. Características de crecimiento de *Pavona clavus* desde 1994 hasta 2013. (a) extensión (cm año⁻¹), densidad (g cm³) y (c) calcificación (g cm⁻² año⁻¹) en Isla de la Plata, Ecuador

P. clavus presentan una caída en el año 1998: para la tasa de extensión la diferencia es 29%, para la densidad 14% y para la calcificación de 36%, posiblemente como respuesta del aumento al estrés térmico. Esta respuesta es similar para los corales del género *Porites* en la GBA, donde el aumento de la temperatura durante el periodo de 1988-2003 impacta más en la reducción de la tasa de extensión y calcificación del coral, mientras que en la densidad no presenta ningún efecto (Suzuki *et al.* 2003; Cooper *et al.* 2008). Se ha observado que la densidad de *Pavona clavus* después del evento de 1998 se ha mantenido, caso contrario para la tasa de extensión ya que ha ido disminuyendo. Al igual podemos inferir que la recuperación de *P. clavus* es inmediata después de estar sometida ante un estrés térmico.

Podemos observar que se presenta una ligera disminución no significativa para el año 2010 para las características de crecimiento, resultado de un evento de El Niño moderado y de igual forma el coral *P. clavus* al año siguiente se recupera, esto contrasta con Colgan (1990) ya que menciona que el coral es de una recuperación lenta.

Se analizó en cuál de las características de crecimiento se invierten más los recursos extra de calcificación; por medio de una relación entre ellos (Fig. 6). Los resultados de la relación entre las características de crecimiento, indican que mientras se aumenta la tasa de extensión anual, aumenta la tasa de calcificación anual ($R^2 = 0.54$) (6c) (Dodge y Brass 1984). Anteriormente, Carricart-Ganivet y Merino (2001) ha mostrado resultados similares con la especie coralina *Orbicella annularis*, ya que la tasa de calcificación es susceptible a variaciones en la tasa de extensión que a variaciones en la densidad.

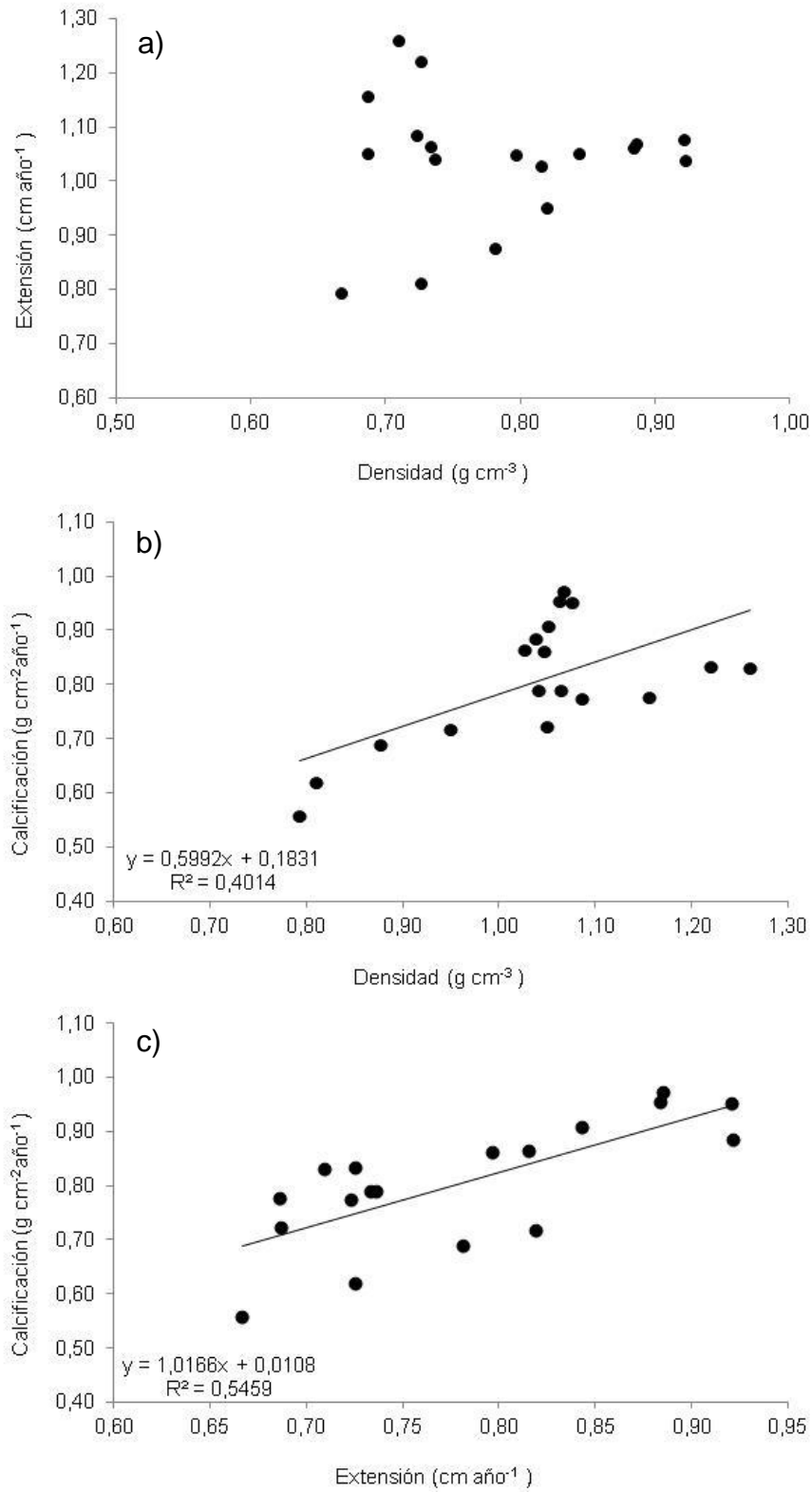


Figura 6. Relación entre características de crecimiento. Extensión y densidad (a), calcificación y densidad (b) y calcificación-extensión (c).

De igual manera otros trabajos observan que el crecimiento esquelético y la calcificación tienden a disminuir cuando el coral es sometido a estrés por elevadas temperaturas (Cooper *et al.* 2008), caso que sucedió para *P. clavus*. Pero se observa que después del evento El Niño el coral recupera su crecimiento, ya que las condiciones ambientales llegaron a ser las adecuadas que permitieron que el coral invirtiera su energía en el crecimiento. Por lo que la correlación entre la calcificación y la extensión del esqueleto, refleja la asociación entre estas dos características, ya que se requiere mayor tasa de calcificación para la extensión del esqueleto en un gradiente de distancia. Esto coincide con el género *Porites spp.* donde invierte sus recursos en la extensión esquelética, por lo que al disminuir la tasa de calcificación se correlaciona con la disminución de la extensión esquelética (Lough y Barnes 2000); mientras que no coincide para el género *Orbicella*, ya que sus recursos los invierte en su densidad esquelética, manteniendo una misma extensión bajo estrés térmico (Carricart-Ganivet 2004).

Los resultados que se obtuvieron de las relaciones entre las características, reflejan que no una hay relación fuerte entre la densidad anual y la tasa de extensión anual, ya que mientras se incrementa la densidad la extensión disminuye (Fig. 6a). La relación entre la densidad y la tasa de calcificación responden a una relación significativa ($R^2= 0.40$, $p < 0.01$) (Fig. 6b). Así mismo, la tasa de extensión y la calcificación están significativamente relacionadas ($R^2= 0.54$, $p < 0.01$) (Fig. 6c) De modo que los corales hermatípicos modulan su crecimiento dependiendo de la estrategia de cada género, ya que puede invertir los recursos de la calcificación en construir esqueletos más densos o en crecer más rápido.

Cuadro 6. Registro mensual de la TMS para los años 1994-2014, con su promedio anual provenientes de la base de datos de HadISST, producidos por la Oficina Meteorológica del Reino Unido.

Año	Ene	Feb.	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dec	Promedio	Max.	Min.
1994	25,81	25,98	23,99	23,98	25,15	24,19	22,49	21,76	23,03	24,22	24,19	24,93	24,14	25,98	21,76
1995	26,49	25,95	25,23	24,67	25,25	24,19	23,75	22,73	23,74	23,57	23,86	24,00	24,45	26,49	22,73
1996	24,69	26,90	26,38	23,21	25,44	23,26	22,37	23,06	23,15	22,83	23,85	24,12	24,11	26,90	22,37
1997	24,85	26,43	27,24	26,08	26,65	26,71	26,64	25,61	25,26	26,43	27,27	27,99	26,43	27,99	24,85
1998	28,82	28,79	29,45	28,64	29,30	26,83	25,61	24,53	23,84	24,16	23,58	24,49	26,50	29,45	23,58
1999	26,04	26,77	26,03	23,99	24,59	24,12	23,37	22,14	22,51	23,81	23,29	23,94	24,22	26,77	22,14
2000	24,99	26,22	25,53	25,42	23,69	22,74	22,94	21,96	22,24	23,22	23,22	23,70	23,82	26,22	21,96
2001	24,55	25,61	26,39	25,14	24,19	23,16	22,86	21,81	22,12	22,23	22,70	22,94	23,64	26,39	21,81
2002	24,70	26,09	26,54	25,47	25,15	24,63	22,98	22,23	22,81	23,92	23,98	25,04	24,46	26,54	22,23
2003	25,48	26,19	25,36	24,81	23,92	23,58	23,16	23,45	22,65	23,46	24,76	24,61	24,29	26,19	22,65
2004	24,74	26,10	25,58	24,74	24,68	24,06	22,88	22,16	23,19	23,33	24,20	24,66	24,19	26,10	22,16
2005	25,60	25,47	25,33	26,01	24,90	23,62	23,52	22,45	22,56	22,81	23,06	23,42	24,06	26,01	22,45
2006	24,72	27,09	25,89	24,41	24,79	24,00	23,55	23,88	23,46	24,60	23,93	24,96	24,61	27,09	23,46
2007	26,00	26,15	25,59	24,17	24,21	23,81	22,88	21,65	22,58	22,18	22,76	22,97	23,75	26,15	21,65
2008	24,23	26,48	26,83	25,44	24,48	24,54	24,20	24,25	24,16	23,59	24,39	24,29	24,74	26,83	23,59
2009	25,38	25,93	25,14	24,49	24,63	24,66	24,15	24,06	23,49	23,56	24,08	24,60	24,51	25,93	23,49
2010	25,78	26,25	26,77	26,58	27,62	24,77	23,39	22,18	22,58	22,96	23,50	23,68	24,67	27,62	22,18
2011	25,50	26,31	25,06	25,39	24,54	24,65	24,16	23,55	23,03	23,82	22,69	24,16	24,41	26,31	22,69
2012	25,85	27,12	26,34	25,47	26,29	25,30	24,10	23,25	23,89	22,85	22,63	23,75	24,74	27,12	22,63
2013	25,39	26,01	25,64	24,20	23,92	23,85	22,25	23,33	23,09	24,04	23,82	24,53	24,17	26,01	22,25
2014	26,00	25,49	25,70	25,15	25,86	26,36	25,14	24,09	23,54	23,97	24,64	23,88	24,99	26,36	23,54

Otro punto es considerar la temperatura para los años 1998-97, ya que el promedio de la temperatura anual es mayor a otros años, como ya se ha mencionado anteriormente, este incremento en la temperatura se debe a la presencia del evento El Niño (Cuadro 6).

Siguiendo con el objetivo del trabajo, se presenta la relación de la temperatura del mar superficial (TMS) en los años estudiados de 2013 hasta 1996 (Cuadro 6) con la tasa de calcificación (Fig. 7). Los datos muestran una relación evidente en el aumento de la temperatura y una caída de la tasa de calcificación, confirmando los efectos del calentamiento global en el Pacífico oriental. Se considera el incremento en la temperatura como el principal factor determinante en los arrecifes coralinos (Jokiet y Coles 1977; Hueerkamp *et al.* 2001). Por lo que se cuenta con la temperatura para la zona de estudio Isla de la Plata (Cuadro 6) proveniente de la base de datos de HadISST, producidos por la Oficina Meteorológica del Reino Unido.

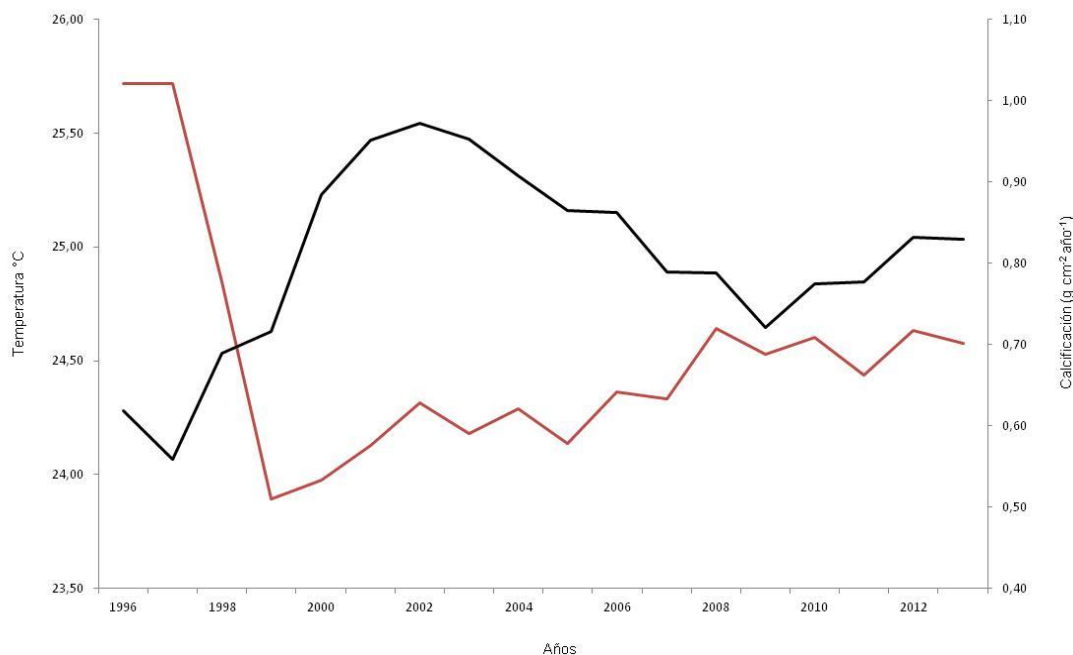


Figura 7. Temperatura (°C) y tasa de calcificación (g cm⁻² año⁻¹). Relación entre la temperatura (línea roja) y la tasa de calcificación (g cm⁻² año⁻¹) (línea negra) en un rango de 18 años.

Se corrobora y se sostiene que la calcificación y la temperatura tienen una relación importante, en el coral *P. clavus* ($R^2 = 0,57$). En el periodo 1997-1998 se registró la actividad de El Niño, manifestándose en la reducción de la calcificación (Glynn *et al.* 2001), para *P. clavus*, ya que es la característica que mejor refleja cómo las condiciones ambientales regulan el crecimiento.

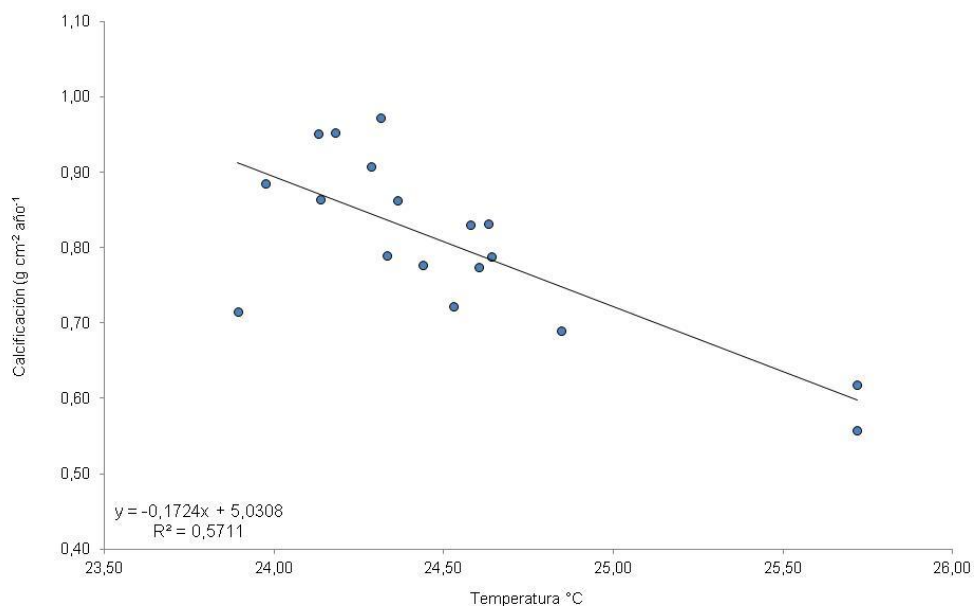


Figura 8. Relación simple de la tasa de calcificación y la temperatura.

Cabe destacar que la tasa de calcificación tiende a disminuir a partir del 2011 en adelante, respondiendo tanto a factores antropogénicos o ambientales que lleve a un deterioro de la calidad del agua. Otros trabajos sugieren que esto se debe a una posible respuesta del coral ante la aclimatación; por ejemplo, los corales ramificados con altas tasas de crecimiento y bajas tasas metabólicas tiene mayor capacidad para aclimatarse, caso contrario para los corales masivos con bajas tasas de crecimiento y altas tasas metabólicas (Claude y Roth 1975; Hueerkamp *et al.* 2001). Esto entra den un posible panorama futuro, donde se esperan tasas

reducidas de calcificación para el año 2100, debido a la constante frecuencia e intensidad del evento del Niño (Carricart-Ganivet *et al.* 2012).

Como en otros trabajos, estos resultados corroboran la relación de la temperatura como una variable ambiental importante en el crecimiento coralino. Como menciona Calderón-Aguilera *et al.* (2002) la formación de los esqueletos, así como la densidad o/y la tase de crecimiento, dependen principalmente de la temperatura del mar.

En este estudio se realizó la descripción de las características de crecimiento del coral hermatípico *Pavona clavus*. La importancia de esta especie en el Pacífico oriental consiste en la construcción del arrecife coralino, pero a causa del calentamiento global, la acidificación del océano, la contaminación y la sobrepesca, entre otros, se ve afectado su crecimiento; hay que recordar que la dinámica comunitaria no es lineal y tiene múltiples estados de equilibrio (Holling 1973)

Conclusiones.

Para las características de crecimiento *Pavona clavus* de la Isla de la Plata, Ecuador presenta en promedio (anual): densidad de $1.04 \pm 0.14 \text{ g cm}^3$, tasa de extensión anual de $0.78 \pm 0.12 \text{ cm año}^{-1}$ y tasa de calcificación de $0.80 \pm 0.16 \text{ g cm}^{-2} \text{ año}^{-1}$.

Esta especie presenta una relación positiva entre la extensión y la calcificación, y entre la densidad y la tasa de calcificación; por otro lado, no hay relación significativa entre la densidad y la tasa de extensión

En Ecuador, durante el evento de El Niño el aumento de la TMS, afectó el crecimiento del coral *P. clavus* reflejándose en su disminución en la tasa de calcificación.

Con estos resultados observamos que la tasa de la calcificación en *P. clavus*, una de las especies principales para la formación de arrecifes en el Pacífico oriental ha sufrido gran impacto en las últimas décadas, lo que compromete el crecimiento coralino, provocando que los arrecifes coralinos sean vulnerables, causando la pérdida de hábitats para miles de especies; al mismo tiempo causa pérdidas de ingresos por turismo y mayores daños durante tormentas y huracanes a comunidades costeras.

Referencias.

Albright R, Mason B. 2013. Project Near-Future Levels of Temperature and pCO₂ Reduce Coral Fertilization Success. PLOS ONE. 8(2): 1-8.

Al-Horani, F.A. 2005. Effects of changing seawater temperature on photosynthesis and calcification in the scleractinian coral *Galaxea fascicularis*, measured with O₂, CA²⁺ and pH microsensors. Scientia Marina 69(3):347-354.

Álvarez-Filip L, Bonilla-Moheno M. 2007. Arrecifes Coralinos, Selvas Tropicales y Huracanes. Redalyc, (085), 14–17.

Barboza-Lizano O. 2013. Calentamiento global: "La máxima expresión de la civilización petrofósil". CESLA. (16): 35-68.

Barnes D J, Lough J M. 1993. On the nature and causes of density banding in massive coral skeletons. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 167: 91-108.

Bianucci L. 2004. Climatología de los frentes de marea en la Plataforma Continental y su rol en los flujos mar-atmosfera de CO₂. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.

Brachert TC, Reuter M, Krüger S, Böcker A, Lohmann H, Mertz-Kraus R, Fassoulas C. 2013. Density banding in corals: barcodes of past and current climate change. Coral Reefs. DOI 10. 1007/s00338-013-1056-7.

Brown B.E. 1996. Coral bleaching: causes and consequences. Coral Reefs. (16),129-138. UK.

Brusca R, C & Brusca G, J. 2005. Invertebrados. McGraw-Hill Interamericana de España S.L. 2:1005

Bruno J F, Selig E R. 2007. Regional decline of coral cover in the Indo-Pacific: Timing, extente, and subregional comparisons. PLoS One. 5, 2(8): 1-8.

Buddemeier R W, Fautin D G. 1993. Coral bleaching as an Adaptive mechanism. BioScience. Oxford University Press. 43(5), 320-326

Burke L, Maidens J. 2005. Arrecifes en peligro en el Caribe. World Resources Institute. Washington, DC

Carballo, J. L, Yañez B, Zubía E, Ortega M J, Vega C. 2010. Culture of Explants from the Sponge *Mycale cecilia* to Obtain Bioactive Mycalazal-Type Metabolites. Marine Biotechnology. 12(5): 516–525.

Caballero M, *et al.* 2007. Efecto invernadero , calentamiento global y cambio climático : una perspectiva desde las ciencias de la tierra Efecto invernadero calentamiento global y cambio climático. *Revista Digital Universitaria*, 8(1067-6079), 12.

Cabral-Tena R A, Reyes-Bonilla H, Lluch-Cota S, Paz-García D A, Calderón-Aguilera L E, Norzagaray-López O, Balart E F. 2013. Different calcification rates in males and females of the coral *Porites panamensis* in the Gulf of California. *Marine Ecology Progress Series*. 476: 1-8.

Calderon-Aguilera L E, Reyes- Bonilla H, Carriquiry J D. 2002. El papel de los arrecifes coralinos en el flujo de carbono en el océano: Estudios en el Pacífico Mexicano. En libro: Carbono en ecosistemas acuáticos de México. Cap;itulo 14. INE-SEMARNET-CICESE. 215-226 pp.

Capel-Molina J J. 1998. El Niño 1997-98 y su impacto climático global. *Papeles de Geografía*. (27): 15-40.

Carricart-Ganivet J P, Barnes D J. 2007. Densitometry from digitized image of X-radiographs: Methodology for measurement of coral skeletal density. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 344: 67-72.

Carricart-Ganivet J P, Beltran-Torres A U, Merino M, Ruiz-Zárate M. 2000. Skeletal extension, density and calcification rate of the reef building coral *Montastraea annularis* (Ellis and Solander) in the Mexican Caribbean. *Bulletin of Marine Science*, 66(1): 215–224.

Carricart-Ganivet J P, Merino M. 2001. Growth responses of the reef-building coral *Montastraea annularis* along a gradient of continental influence in the southern Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science*. 68(1): 133-146.

Carricart-Ganivet J P. 2004. Sea surface temperature and the growth of the west Atlantic reef-building coral *Montastraea annularis*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 302: 249-260.

Carricart-Ganivet J P, 2011. Coral skeletal extension rate: an environmental signal or a subject to inaccuracies. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 405(1-2):73–79.

Carricart-Ganivet J P, Cabanillas-Terán N, Cruz-Ortega I, Blanchon P. 2012.. Sensitivity of calcification to thermal stress varies among general of massive reef-building corals. *Plos One*. 7(3): 1-8.

Chávez-Romo H E, Reyes-Bonilla H. 2007. Sexual reproduction of the coral *Pocillopora damicornis* in the southern Gulf of California. México. *Ciencias Marinas*. 33(4):495-501.

Chappell J. 2015. Geology of coral terraces, houn Peninsula, New Guinea: A study of quaternary tectonic movements and sea-level changes. *Geological Society of America Bulletin*. 85(4): 553-570.

Charry H, Alvarado E M, Sánchez J A. Annual skeletal extension of two reef-building corals from the Colombian Caribbean sea. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*. 33: 209-222.

Clausen C D, Roth A A. 1975. Effect of temperature and temperature adaptation on calcification rate in the hermatypic coral *Pocillopora damicornis*. *Marine Biology*. 33: 93-100.

Coles S L, Jokiel P L. 1978. Synergistic effects of temperature, salinity and light on the hermatypic coral *Montipora verrucosa*. *Marine Biology* 49: 187-195.

Cooper T F, De'ath G, Fabricius K E, Lough J. 2008. Declining coral calcification in massive Porites in two nearshore regions of the northern Great Barrier Reef. *Global Change Biology*, 14(3), 529–538.

Colgan, M.W. 1990. El Niño and the history of eastern Pacific reef building, p. 183-229. In P.W. Glynn (ed.) *Global ecological consequences of the 1982-83 El Niño-Southern Oscillation*. Elsevier, Amsterdam

Cortés, J. 1997. Comunidades coralinas y arrecifes del Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 44-45(1-3), 623–625.

Cortés J, Guzmán H. 1998. Organismos de los arrecifes coralinos de Costa Rica: Descripción, distribución geográfica e historia natural de los corales zooxantelados (Anthozoa: Scleractinia) del Pacífico. *Rev. Biol. Trop.* 46(1): 55-92.

Cortés, J, Jiménez C E, Fonseca A C, Alvarado J J. 2010. Status and conservation of coral reefs in Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 33-50.

Cróquer A, Bone D. 2003. Disease in scleractinian corals: a new problem in the reef at Cayo Sombrero, Morrocoy National Park, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 51 (4): 167–172.

CPSS PNUMA. 1997. Estudio Nacional de la diversidad biológica, marina y costera del Parque Nacional Machalilla, Ecuador. CPPSPNUMA/PSE(IE(97)3.

De'ath G, Lough J M, Fabricius K E. 2009. Declining coral calcification on the Great Barrier Reef. *Science*. 323: 116-119.

De'ath G, Fabricius K, Lough J. 2013. Yes - Coral calcification rates have decreased in the last twenty-five years! *Marine Geology*, 346: 400–402.

Dodge R E, Brass Gw. 1984. Skeletal extension, density and calcification of the reef coral, *Montastrea annularis*: ST. Croix, U.S Virgin Islands. *Bulletin of Marine Science*. 34(2): 288-307.

Doney S C, Fabry V J, Feely R A, Kleypas J A. 2009. Ocean acidification: the other CO₂ problem. *Annu. Rev. Mar. Sci.* 1: 169-192.

Drenkard E J, Cohen A L, McCorkle D C, Putron S J, Starczak V R, Zicht A E. 2013. Calcification by juvenile corals under heterotrophy and elevated CO₂. *Coral Reefs*.32: 727-735.

Dubinsky B Z, Falkowski P G, Porter J W, Muscatine L. 1984. Absorption and utilization of radiant energy by light- and shade-adapted colonies of the hermatypic coral *Stylophora pistillata*. *Royal Society of London*.(222): 203-214

Duprey N, Boucher H, Jiménez C. 2012. Digital correction of computed X-radiographs for coral densitometry. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 438, 84–92.

Elizalde-Rendón E M, Horta- Puga G, González-Díaz P, Carricart-Ganivet J P. 2010. Growth characteristics of the reef-building coral *Porites astreoides* under different environmental conditions in the Western Atlantic. *Coral Reefs*. DOI 10.1007/s0038-010-0604-7.

Falkowski P G, Dubinsky Z, Muscatine L, Porter J W. 1984. Light and the Bioenergetics of a Symbiotic Coral. *BioScience*. 34(11): 705-709.

Fisk D A, Done T J. 1985. Taxonomic and bathymetric patterns of bleaching in corals, Myrmidon reef (Queensland). *Proceedings of the Fifth Coral Reef Congress, Tahiti*. Australian Institute of Marine Science Contribution. 6(286):149-154.

Gil-Agudelo D L, Navas-Camacho R, Rodríguez-Ramírez A, Reyes-Nivia M C, Bejarano S, Garzón-Ferreira J, Smith G W. 2009. Enfermedades coralinas y su investigación en los arrecifes colombianos. *Boletín de Investigaciones Marinas Y Costeras*, 38(2):189–224.

Goreau T J, Hayes R L. 1994. Coral bleaching and ocean "Hot Spots". *Ambio-Journal of Human Environment Research and Management*. 23(3): 176-180.

Glynn, P W, Stewart R H, McCosker J E. 1972. Pacific coral reef of Panama: structure, distribution and predators. *Geol. Rundsch*. 61: 483-519.

Glynn P W, Stewart R H. 1973. Distribution of coral reefs in the Pearl Islands (Gulf of Panama) in relation to thermal conditions. *Limnol. Oceanogr*. 18: 367 -379.

Glynn, P,W. 1983. Extensive "bleaching" and death of reef corals in the Pacific coast (Panama). *Envir. Conserv*. 10: 149-154.

Glynn P W, Wellington G M. 1983. Corals and coral reefs of the Galápagos Islands. University of California Press. Berkeley, 330 p

Glynn P W, Cortés J, Guzman H M, Richmond R H. 1988. El niño (1982-83) associated coral mortality and relationship to sea surface temperature deciations in the tropical eastern Pacific. 6th International Coral Reef Symposium. Australia. 3: 237- 243.

Glynn, P. W. 1997. Bioerosion and Coral Reef Growth: A Dynamic Balance. *Life and Death Of Coral Reefs*, 69–98.

Glynn P W, Maté J L, Baker A C, Calderón M O. 2001. Coral bleaching and mortality in panama and ecuador during the 1997–1998 El Niño–southern oscillation event: spatial/temporal patterns and comparisons with the 1982–1983 event. *Bulletin of Marine Science*. 69(1):79–109.

Guzmán H M, Cortés J, Richmond R H, Glynn P W. 1987. Efectos del fenómeno de “El Niño Oscilacion Surena” 1982/83 en los arrecifes coralinos de la Isla del Cano, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 35(2): 325–332.

Guzmán H M, Cortés J. 1989. Growth rates of eight species of scleractinian corals in the eastern Pacific (Costa Rica). *Bulletin of Marine Science*. 44(3) 1186-1194.

Guzmán H M, Robertson D R, Díaz M L. 1991. Distribucion y abundancia de corales en el arrecife del Refugio de Isla Iguana, Pacífico de Panamá. *Rev. Biol. Trop.* 32(2): 225-231.

Guzmán H M, Cortés J. 1993. Arrecifes coralinos del Pacífico Oriental Tropical: Revisión y perspectivas. *Revista de Biología Tropical*, 41(3): 535–557.

Hallock P, Schlager W. 1986. Nutrient excess and the demise of the coral reefs and carbonate platforms. *PALAIOS*. 1(4): 389-398.

Harrison, P L, R C Babcock, G. D. Bull, J. K. Oliver, C. C. Wallace, B. L. Willis. 1984. Mass spawning in tropical reef corals. *Science*, N.Y. 223: 1186-1189.

Harrison P L. 2011. Sexual reproduction of scleractinian corals. En: Dubinsky Z, Stambler N (edit.). *Coral Reefs: An ecosystem in transition*. Springer. Israel

Häussermann, V. 2009. "Cnidaria–Cnidarians", en: Häussermann, V. & Försterra, G. (eds.), *Marine Benthic Fauna of Chilean Patagonia, Nature in Focus*, Puerto Montt, Chile.

Helmle K P, Dodge R E, Ketcha R A. 2000. Skeleta; architecture and density banding in *Diploria strigosa* by X-ray computed tomography. 9th International Coral Reef Symposium. Indonesia. 1: 365-371.

Hill C A. 2010. Coral skeleton density banding: biotic response to changes in sea surfce temperature. Tesis de Maestria en Ciencia de Geologia. Universidad de Illinois.

Hixon M.A. 2015. Predation: piscivory and the ecology of coral reef fishes. En *Ecology of Fische on Coral Reefs*. Camilo Mora (edit.) Cambridge University Press.USA.

Hoegh-Guldberg, O. 1999. Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs. *Marine and Freshwater Research*. Australia. 50(8): 839-66.

Houck J E, Buddemeier R W. The response of coral growth rate and skeletal strontium content to light intensity and water temperature. Proceed: 3th International Coral Reef Symposium. Universidad de Miami.

Hueerkamp C, Glynn P W, D'croz L, Maté J L, Colley S B. Bleaching and recovery of five eastern pacific corals in an El Niño-related temperature experiment. *Bulletin of Marine Science*. 69(1): 215-236.

Hughes J. 2000. Biological consequences of global warming: is the signal already. Elsevier. 15(2): 56-61.

Jenkinson D S, Adams D E, Wild A. 1991. Model estimates of CO₂ emissions from soil in response to global warming. Nature Publishing Group. Reino Unido. 35: 1304-306.

Jiménez C, Cortés J, León A, Ruíz E. 2001. Coral bleaching and mortality associated with the 1997-98 El Niño in an upwelling environment in the Eastern Pacific (Gulf of Papagayo, Costa Rica). *Bulletin of Marine Science*. 69(1):151-169.

Jokiel P L, Coles S L. 1977. Effects of temperature on the mortality and growth of Hawaii reef corals. *Marine Biology*. 43(3): 201-208.

Kleypas J A, Buddemeier RW, Archer D, Gattuso J-P, Langdon C, Opdyke B N. 1999. Geochemical consequences of increased atmospheric carbon dioxide on coral reefs. *Science*. 284: 118-120.

Knowlton N. 2001. The future of coral reefs. *PNAS*. 98(10): 5419-5425.

Knutson D W, Buddemeier R W, Smith S V. 1972. Coral chronometers: Seasonal growth bands in reef corals. *Science*. 177: 270-272.

Kojis B L, Quinn N J. 1981. Aspects of sexual reproduction and larval development in the shallow water hermatypic coral, *Goniastrea australensis* (Edwards and Haime, 1857). *Bulletin of Marine Science*. 31(3): 558-573.

Land L S, Lang J C, Smith B N. 1974. NOTES: Preliminary observations on the carbon isotopic composition of some reef coral tissues and symbiotic zooxanthellae. University of Texas. 283-287.

Loya Y, Sakai K, Yamazato K, Nakano Y, Sambali H, Van Woesik R. 2001. Coral bleaching: the winners and the losers. *Ecology letters*. (4): 122-131.

Lough J M, Barnes D J. 2000. Environmental controls on growth of the massive coral *Porites*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 245: 225-243.

- Manahan S E. 2007. Introducción a la química ambiental. Reverté. Barcelona. 760.
- Marín-Naranjo L D. 2009. Análisis de la ley de cuadrado inverso para la medición práctica de iluminancia. *Ingeniería*. 19(1): 87-96.
- Martins de Freitas R. 2011. Effects of high CO₂ levels on growth and calcification of the Caribbean coral *Porites porites* (Pallas, 1766). Tesis de Masters in Marine Sciences – Marine Resources. Universidade do Porto.
- McCook L J. 1999. Macroalgae, nutrients and phase shifts on coral reefs: scientific issues and management consequences for the Great Barrier Reef. *Coral REEFS*. 18(4): 357-367.
- Meyers G, Donguy J-R. 1984. The north equatorial countercurrent and heat storage in the western Pacific ocean during 1982-83. *Nature*. 312(5991): 258-260.
- Mumby P J, Flower J, Chollett I, Box S J, Bozec Y-M, Fitzsimmons C, Forster J, Gill D, Griffith-Mumby R, Oxenford H A, Peterson A M, Stead S M, Turner R A, Townsley P, van Beukering P J H, Booker F, Brocke H J, Cabañillas-Terán N, Canty S W J, Carricart-Ganivet J P, Charlery J, Dryden C, van Duyl F C, Enríquez S, den Haan J, Iglesias-Prieto R, Kennedy E V, Mahon R, Mueller B, Newman S P, Nugues M M, Cortés Núñez J, Nurse L, Osinga R, Paris C B, Petersen D, Polunin N V C, Sánchez C, Schep S, Stevens J R, Vallès H, Vermeij M J A, Visser P M, Whittingham E, Williams S M. 2014. Hacia la resiliencia del arrecife y medios de vida sustentables: Un manual para los administradores de arrecifes de coral del Caribe. University of Exeter, Exeter. 172 pp. En: Cambio climático y su efecto sobre los arrecifes coralinos del Caribe.
- Muscantine L, Cernichiari E. 1969. Assimilation of photosynthetic products of zooxanthellae by reef coral. *Biological Bulletin*. 137(3): 506-52.
- Muscantine L. 1976. Glycerol excretion by symbiotic algae from corals and tridacna and its control by the host. *Science*. 156: 516-519.
- Muscantine L, Porter J W. 1977. Mutualistic symbioses adapted to nutrient-poor environments. *Oxford University Press*. 27(7): 454-460.
- Norzagaray-López O, Ávila-López M C, Chapa-Balcorta C, Calderón-Aguilera L, Hernández-Ayón M. 2013. Reducida producción de CaCO₃ por *Porites panamensis* en tres comunidades arrecifales de Pacífico mexicano. En: Paz-Pellat F, Wong-González J, Bazan M, Saynes V. (edit) Estado Actual del Conocimiento del ciclo del carbono y sus interacciones en México: Síntesis a 2013. Universidad Autónoma de Chapingo.
- Norzagaray-López C O, Calderon-Aguilera L E, Hernández-Ayón J M, Reyes-Bonilla H, Carricart-Ganivet J P, Cabral-Tena R A, Francisco-Balart E. 2014. Low calcification rates and calcium carbonate production in *Porites panamensis* at its northernmost geographic distribution. *Marine Ecology*,

- Olivier S R. 1978. Ecología y uso recreativo educacional del littoral marítimo de Honduras. *Anales del centro de ciencias del mar y limnología*. UNAM 6(2):107-122.
- Onuma J S, Romero-Zeballos G, Medina-Manrique R, Díaz-Calero A, Wan J L, Meneses J. 2012. La gestión del riesgo de desastres en el Perú. DIPECHO. 146 pp.
- Oller-Arlandis V, Sanz-Valero J. 2012. Cáncer por contaminación química del agua de consumo humano en menores de 19 años: una revisión sistemática. *Rev Panam Salud Publica*, 32(6): 435–443.
- Peterson T, Sánchez-Cordero V, Soberón J, Bartley J, Buddemeier R W, Navarro-Sigüenza A G. 2001. Effects of Global Climate Change on Geographic Distributions of Mexican Cracidae. *Ecological Modeling* 144(1): 21-30.
- Ritson-Williams R, Arnold S N, Fogarty N D, Steneck RS, Vermeij MJA, Paul V J. 2009. New Perspectives on Ecological Mechanisms Affecting Coral Recruitment on Reefs. *Smithsonian Contributions to the Marine Sciences*. USA. (38): 437-457.
- Rodríguez-Troncoso A P, Carpizo-Ituarte E, Pettay D T, Warner M E, Cupul-Magaña A L. 2014. The effects of an abnormal decrease in temperature on the Eastern Pacific reef-building coral *Pocillopora verrucosa*. *Marine Biology*, 161(1): 131–139.
- Rosenberg E, Kushmaro A, Kramarsky-Winter E, Banin E, Yossi L. 2008. The role of microorganisms in coral bleaching. *The ISME Journal*, 3(2): 1-8.
- Sánchez J, Zea S, Díaz J M. 1998. Patterns of octocoral and black coral distribution in the oceanic barrier reef-complex of Providencia island, southwestern Caribbean. *Caribbean Journal of Science*, 34(3-4): 250–264.
- Schuhmacher, H. 1978. Arrecifes coralinos, su extensión, mundo animal y ecología. Omega, Barcelona. 277 pp
- Sheppard C R C, Spalding M, Bradshaw C, Wilson S. 2002. Erosion vs. Recovery of coral reefs after 1998 El Niño: Chagos reefs, Indian Ocean. *Journal of the Human Environment*. 31(1): 40-48.
- Smith J E, Smith C M, Hunter C L. 2001. An experimental analysis of the effects of herbivory and nutrient enrichment on benthic community dynamics on a Hawaiian reef. *Coral Reefs* 19(4):332-342.
- Sommer M. 2005. Pesca de arrastre: Aniquilación silenciosa. *Revista Electrónica de Veterinaria*. 6 (4).
- Spalding M, Ravilious C, Peter-Green E. 2001. *World Atlas of Coral Reefs*. University of California Press. United Kingdom and New York. USA.
- Suzuki A, Gagan M K, Fabricius K E, Isdale P J, Yukino I, Kawahata H. 2003. Skeletal isotope microprofiles of growth perturbations in *Porites* corals during the 1997–1998 mass bleaching event. *Coral Reefs*. 22: 357–369.

Sutherland. K, Porter J, Torres C. 2004. Disease and immunity in Caribbean and Indo-Pacific zooxanthellate corals. *Marine Ecology Progress Series*. USA. 266, 273-302.

Tolba M K. 1992. "Contaminación marina" En: *Salvemos El Planeta*. 33-44.

Torres G, Calderón T, Calderón G, Franco V, Correa C. 2003. Bio-oceanografía en el entorno de la Isla de la Plata, durante Agosto/2001. *Acta Oceanográfica del Pacífico*. 12(1) 93:102.

Torres-Alvarado M R, Calva-Benítez L G. 2012. Nutrientes en arrecifes de coral: Un caso de estudio. *ContactoS*. 3ª Epoca.85: 42-50.

Veron J E N. 2000. *Corals of the World*. Australian Institute Of Marine Science. Australia. 1(3): 212.

Watson R, Houghton J, Yihui D. 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. University of Cambridge Press. United Kingdom and New York, USA. VII

Wellington G M, Glynn P W. 1983. Environmental influences on skeletal banding in eastern Pacific (Panama) corals. *Coral Reefs*, 1(4): 215–222.

Westmacott S, Teleki K, Wells S, West J. 2000. Manejo de arrecifes de coral blanqueado o severamente dañado. UICN, Gland, Suiza y Cambridge. Reino Unido. VII. 36 pp.

Wilkinson C, Souter D (edt.). 2008. Status of Caribbean Coral Reefs after bleaching and hurricanes en 2005. Global Coral Reef Monitoring Network, and Reef and Rainforest Research Centre, Townsville, 152 p.

Wyrski K, Stroup E, Patzert W, Williams R, Qinn W. 1976. Predicting and observing El Niño. *Science*. 191(4225) 343-346.

ISRS Consensus Statement on Climate Change and Coral Bleaching, 2015, consultado en <http://coralreefs.org/wp-content/uploads/2014/03/ISRS-Consensus-Statement-on-Coral-Bleaching-Climate-Change-FINAL-14Oct2015-HR.pdf> el 28 de octubre de 2015.

Westmacott *et al.* 2000; <http://www.noaaneews.noaa.gov/stories2015/100815-noaa-declares-third-ever-global-coral-bleaching-event.html>, consultado el 5 de noviembre de 2015