



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

Análisis de la mortalidad parcial de *O. faveolata* en el  
Sistema Arrecifal Veracruzano

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIOLOGO

P R E S E N T A :

Dan Donoban Barnabé Martínez

DIRECTOR DE TESIS:  
Biol. José Luis Tello Musi



Los Reyes Iztacala Edo. De México 2015



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.

## **Agradecimientos**

Primero quiero agradecer a mis padres por haber sido mi “tanque de oxígeno y mi reserva en todo momento” en la más grande e importante inmersión: la del conocimiento, que aún no termina, pero que si cierra un importante ciclo, el cual sin ustedes no lo hubiera logrado, gracias Virginia y Armando, mamá y papá, por apoyarme en todo.

A mi esposa y futura colega Jacque por compartir conmigo tantas cosas y ser mis aletas para no dejar de avanzar y siempre darme ánimos, y por haberme dado el mejor regalo de la vida, nuestro hijo Dereck, Jack te amo.

A un gran amigo mi hermano Víctor por ayudarme en todo momento y estar siempre para mí, gracias carnal.

A mi colega y amigo Omar por los buenos consejos y compartir intereses durante toda la carrera, y por esas salidas al campo que sin lugar a dudas fueron las mejores.

A Tawi y mi primo Ricardo por tantos brindis en los que hablábamos de nuestro futuro y de nuestros futuros logros, y los que faltan.

A mi compadre Noé por ser un gran amigo y una gran persona, y darme siempre buenos consejos, nunca cambies compadre.

A mi director de tesis José Luis Tello Musí por haberme dado la oportunidad de sumergirme en esta área del conocimiento científico que, sin dudas, cambio mi vida para siempre.

Al Doctor Guillermo Horta Puga, porque sus enseñanzas fueron un parteaguas en mi formación profesional y ser un gran ejemplo a seguir.

Al proyecto CONABIO GM005, porque mi tesis pudo realizarse gracias a este importante proyecto.

A mis compañeros de la bodeguita arrecifal: Jaqui, Jenny, Víctor y Jhoan, por brindarme su apoyo y conocimiento así como los momentos divertidos en el laboratorio y muestreos, les deseo éxito a todos.

Finalmente quiero agradecer a mi casa de estudios la Universidad Nacional Autónoma de México y la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, gracias por ser mi segundo Hogar.

*"... Yo creo que existe, y lo siento dentro de mí, un instinto de la verdad o el conocimiento o el descubrimiento, de algo de la misma naturaleza que el instinto de la virtud, y el hecho de que tengamos ese instinto es razón suficiente para las investigaciones científicas aunque no se deriven de ellas ningún resultado práctico"*

*Charles Robert Darwin*

*Por muy arriba que escales, muy rápido que vayas o muy alto que vuelas. Si quieres ver el 70% restante del planeta tendrás que sumergirte. . . .*

## INDICE GENERAL

<b>RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>2</b>
Objetivo general.....	7
Objetivos particulares.....	7
<b>MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>8</b>
Área de estudio.....	8
Diseño metodológico.....	10
Trabajo de gabinete.....	13
Análisis estadísticos.....	14
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>15</b>
La Blanca (barlovento).....	15
Arrecife Cabezo.....	18
Isla Verde.....	21
<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>24</b>
Colonias afectadas y porcentaje de tejido perdido en promedio.....	24
Tipo de mortalidad parcial.....	26
Posición de las lesiones de mortalidad parcial.....	27
Orientación de lesiones laterales.....	31
Correlación entre la talla y el tejido afectado por mortalidad parcial.....	33
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>35</b>
<b>CONSIDERACIONES FINALES.....</b>	<b>36</b>

## Resumen

El presente estudio analizó diferentes aspectos del fenómeno de mortalidad parical como son porcentaje de colonias afectadas, tipo de mortalidad parcial con mayor prevalencia, posición (central y lateral) y orientación de lesiones de mortalidad parcial, la relación entre las tallas y el porcentaje de tejido afectado total de cada colonia, esto en una de las especies de corales más importante tanto en México como en el Atlántico, el coral *Orbicella faveolata*.

El Sistema Arrecifal Veracruzano, es uno de los sistemas arrecifales más impactados en México, por su cercanía al puerto y la desembocadura del río Jamapa por lo cual es de gran importancia analizar la situación actual en cuanto a la mortalidad parcial de *O. faveolata* en el SAV.

Se obtuvo información de tres arrecifes, uno del grupo norte: Isla Verde, y dos del grupo sur: La Blanca y Cabezo. Se registró un total de 128 colonias coralinas entre los tres arrecifes. Los resultados obtenidos muestran que del 80 al 100 % de las colonias presentan mortalidad parcial, el tipo de mortalidad que presentan la mayoría de las colonias es antigua. Las colonias coralinas de los arrecifes La Blanca, Cabezo e Isla Verde presentan en promedio alta pérdida de tejido, 12, 26 y 32 % respectivamente lo cual es grave pues además de ser muchas colonias las que presentan mortalidad parcial en promedio están perdiendo mucho tejido. Son más frecuentes las lesiones en las partes centrales de las colonias, además de ser las de mayor proporción de tejido perdido. Las lesiones laterales presentan una orientación similar entre los dos arrecifes del grupo sur La Blanca y Cabezo con una orientación hacia mar abierto, pero diferente al arrecife del grupo norte Isla Verde con una orientación hacia el arrecife. En cuanto a la relación talla- mortalidad parcial se encontró que al aumentar el tamaño de la colonia también aumenta el porcentaje de mortalidad parcial que presenta.

No existen diferencias entre los tres arrecifes excepto en la orientación de las lesiones, por lo cual se concluye que el fenómeno de mortalidad parcial está impactando de igual manera los tres arrecifes, los factores responsables del fenómeno de mortalidad parcial pueden estar ocurriendo de manera aleatoria en el SAV, como pueden ser sedimentación, coralivoría, competencia con otros invertebrados, efectos de sombreado, y enfermedades, es importante realizar estudios en los que se contemplen estos factores para poder conocer más sobre el comportamiento de los corales ante el fenómeno de mortalidad parcial.

## Introducción

Los arrecifes de coral son ecosistemas que nos brinda bienes y servicios como alimentos, posibilidades recreativas (buceo) y protección de las costas (Done *et al.* 1996, Peterson y Lubchenco 1997, Chávez *et al.* 2010), además la importancia en las industrias pesqueras, de materiales de construcción y nuevos compuestos bioquímicos (Hoegh-Guldberg *et al.* 2007). En este ecosistema se albergan una gran cantidad de especies y los corales son de los principales organismos tan solo Veron (1995) da una estimación de un mínimo de 835 especies de corales formadores de arrecifes, pues se encargan de formar la estructura del hábitat, ellos junto con las algas son quienes más contribuyen al crecimiento y desarrollo del arrecife (Jones *et al.* 1994, Reaka-Kudla, 1997) es por eso que la salud de los corales es de vital importancia para la subsistencia de los arrecifes coralinos (Moberg y Folke 1999) y por ende su estudio.

Sin embargo en los últimos 50 años los arrecifes de coral han disminuido drásticamente (Wilkinson 2008). En el caribe por ejemplo ha disminuido la cobertura de corales hermatípicos alrededor del 80 % (Gardner *et al.* 2003), por diversas causas naturales y antropogénicas (Hughes *et al.* 2003) como son la sedimentación, acidificación del océano, enfermedades coralinas, sobrepesca, contaminación y extracción de corales para ornato o para construcciones (Jordan Dahlgren 2004, Precht y Robartt 2006).

Con frecuencia los corales reciben daños en su tejido, a estas lesiones ocasionadas por enfermedades (Jordán-Dahlgren *et al.* 2005), por coralivoría (Guzmán 1989), por erosión mecánica (Ginsburg *et al.* 2001) o por sedimentación (Wesseling 2001, Nugues y Roberts 2003, Fabricius 2005), se le ha denominado mortalidad parcial (Fig. 1) que afecta a todos los corales, la cual ha sido definida como la cantidad de tejido perdido que una colonia coralina puede volver a recuperar (Meesters *et al.* 1996, Hughes and Jackson 1980), la mortalidad parcial ha sido dividida en dos tipos: reciente y antigua; la mortalidad parcial reciente es reconocible porque aún se aprecia el esqueleto desnudo e intacto del coral en el área de tejido dañado, por el contrario en el tipo de mortalidad parcial antigua se observan algas u otros organismos viviendo en el área de tejido dañado (Smith *et al.* 2009).

En ocasiones la mortalidad parcial puede llegar a fragmentar la colonia (DeVantier y Eidean 1989) lo cual puede llegar a desintegrarla e incluso provocar la muerte de la colonia (Graham y Van Goesik 2013) y por ende, afectar su cobertura (Lewis 1997) lo cual es perjudicial para el arrecife pues recordemos que son de los principales constructores de este ecosistema.

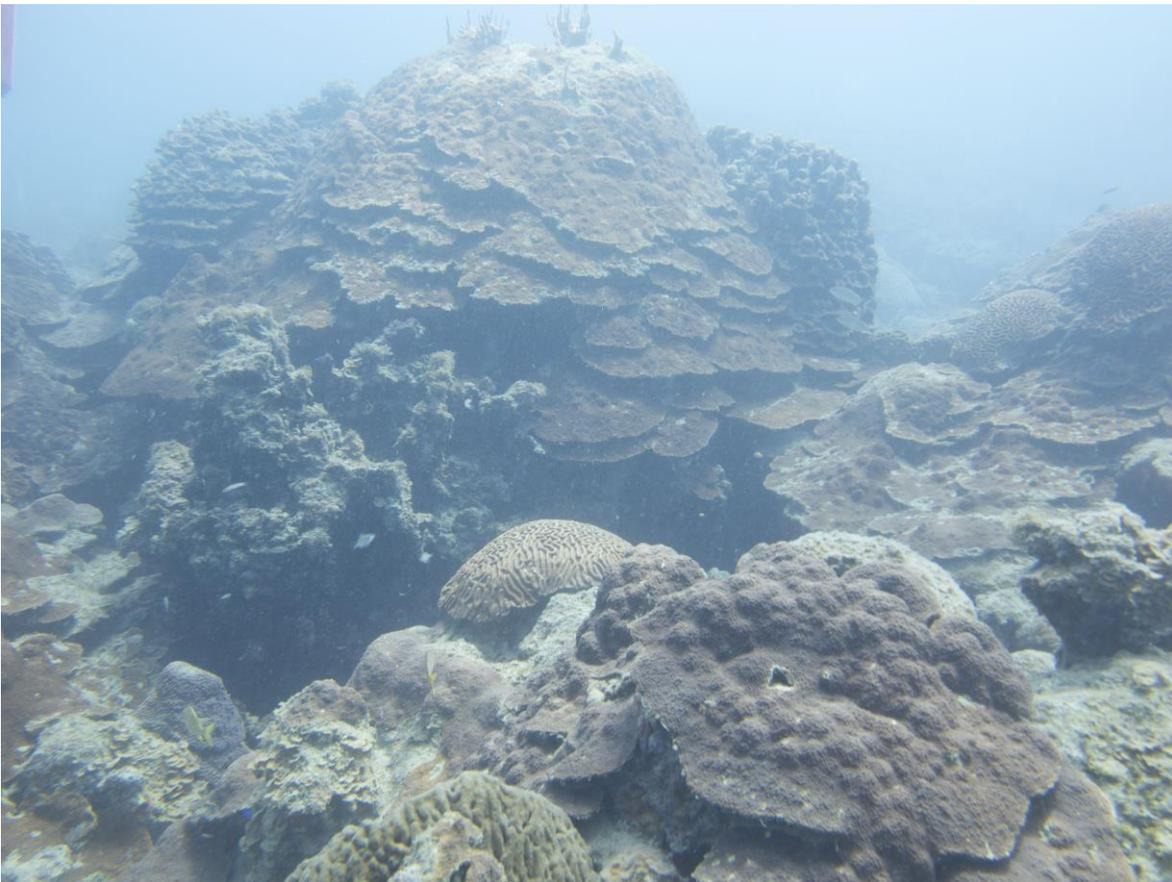
La mortalidad parcial es un problema en todo el mundo, en Florida por ejemplo se ha reportado que el 74 % de las colonias presentan mortalidad parcial, perdiendo en promedio una tercera parte de su tejido (Ginsburg *et al.* 2001), al suroeste del Caribe las colonias coralinas están siendo afectadas por la mortalidad parcial, observándose entre el 40 y el 60% de las poblaciones coralinas afectadas (Garzón *et al.* 2005); también hay evidencia de que la mortalidad parcial de las colonias coralinas del complejo *Orbicella anularis* presentaron un aumento del 5.6 al 12.3% en Cayo Arcas, y del 8.5 al 19.1% en Triángulo Este, de 1996 al 2001, es decir, en 5 años la mortalidad parcial que presentaban las colonias coralinas aumentó más del 100% (Jordán-Dahlgren *et al.* 2005).



**Figura 1. Mortalidad parcial en una colonia de *Orbicella faveolata*.**

Arrecife Chopas, Barlovento. Sistema Arrecifal Veracruzano. Banco de imágenes del proyecto GM005.

En el Caribe Mexicano el número de corales formadores de arrecifes reportado es de 46 especies (Horta-Puga y Carricart 1993), de las cuales *Orbicella faveolata* (Fig. 2), (anteriormente del género *Montastraea* pero reclasificada recientemente al género *Orbicella*, Budd *et al.* 2012) es una de las principales especies constructoras de arrecifes coralinos (Closek *et al.* 2014), pues contribuye de manera significativa a la deposición de carbonato de calcio (Cruz-Piñon *et al.* 2003), además de presentar una alta cobertura y grandes tallas (Dustin *et al.* 2011, Horta-Puga y Tello-Musi 2009). Por su importancia en los arrecifes coralinos se ha analizado en diversos estudios por ejemplo se ha reportado que las colonias de *O. faveolata* de mayor tamaño contienen un número mayor de huevos que otras especies (Graham y Van Woosik 2013), por lo que potencialmente contribuye al reclutamiento de juveniles en el arrecife.



**Figura 2. La colonia de mayor tamaño en la foto es *Orbicella faveolata*.**

Sistema Arrecifal Veracruzano. Banco de imágenes del proyecto GM005.

Aunque también se han realizado estudios acerca del gran impacto de la mortalidad parcial en los juveniles de *O. faveolata* (Goodbody *et al.* 2013), desafortunadamente en la actualidad la situación de esta especie no es muy buena, pues en todo el Caribe ha disminuido considerablemente (Miller *et al.* 2009).

Se reporta que las colonias afectadas por mortalidad parcial de *O. faveolata* se ha incrementado en un 85 % en la última década en los arrecifes de Curaçao en el Mar Caribe (Bruckner y Bruckner 2006). También, se han hecho estudios en los cuales se predice que el número de colonias afectadas por mortalidad parcial de *O. faveolata* será >30% en cortos periodos de tiempo (tres años) en los arrecifes de la isla St. Lucia (Nugues y Roberts 2003).

El sur del Golfo de México se considera una región oceánica de alta contaminación (Villanueva y Paez-Osuna 1996) y en esta zona del Atlántico occidental tropical se encuentran arrecifes bien desarrollados, el Sistema Arrecifal Veracruzano el cual representa el Sistema Arrecifal de mayor tamaño y mejor formado de la región Centro del Golfo de México, se encuentra frente al puerto de Veracruz, siendo éste lugar la ciudad y el puerto más importante del sur del Golfo de México (Horta-Puga y Carriquiry 2014).

El Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) cuenta con 28 arrecifes coralinos costeros y de plataforma que lo componen (Granados *et al.* 2007, DOF 2012), debido a su cercanía al puerto se ha considerado uno de los ecosistemas con mayor impacto ambiental (Jordan-Dahlgren 2004, Horta-Puga 2007), pues se ha desarrollado en un ambiente de aguas turbias generado por la descarga del Río Jamapa (Carricart-Ganivet y Horta-Puga 1993), los cuales pueden acarrear sedimentos, metales pesados, residuos agrícolas y materia orgánica de las casas de la ciudad (Horta-Puga 2007), además el puerto de Veracruz concentra arriba del 30% del comercio marítimo de México, aunado a esto varias industrias (metalúrgicas, comida y textiles) tiran sus desechos al mar (Rosales-Hoz *et al.* 2007). Todo esto contribuye a la perturbación del SAV pues los corales se ven afectados por todos estos factores (Martínez y Acosta 2005).

Kramer en 2000 reportó menos del 1% de mortalidad parcial reciente y cerca del 10 % de mortalidad parcial antigua en Veracruz, Horta Puga en 2003 reportó en el SAV que las poblaciones coralinas presentaban menos del 1% de mortalidad parcial reciente y el 12 % de mortalidad parcial antigua, en otro estudio en el SAV Horta-Puga y Tello-Musi (2009) reportan en el programa GM005 (mismo del cual se pudieron tomar los datos para este

estudio) que el problema de mortalidad parcial ha afectado al 45.7% de las colonias coralinas y que han perdido en promedio el 22.8% de tejido, principalmente por mortalidad parcial antigua (93.6%); la localización, distribución relieve y orientación de las lesiones no ha sido muy estudiada en corales masivos.

Existe un estudio sobre el tipo de lesiones que presenta *Acropora palmata*, *Diploria strigosa* y *Porites astreoides* en el cual únicamente diferenciaron la localización de las lesiones en *A. palmata* llamándole “upperside” (lesiones en la copa) y “underside” (lesiones en la base) y cabe recordar que *Acropora palmata* no es un coral masivo (Meesters y Wesseling 1996). Work y Aeby en 2006 hacen una revisión del tipo de lesiones que producen algunas enfermedades y en que corales, describiéndolas más detalladamente, pero respecto a la orientación no existen estudios en los que hayan analizado esta variable, la hipótesis es que las lesiones que se encuentran en las zonas laterales de las colonias pueden estar siendo influenciadas por el arrecife por lo que pudieran estar orientadas hacia el mismo (varía dependiendo la zona de muestreo y el arrecife) o hacia mar abierto.

Debido a la importancia ya mencionada de *O. faveolata*, no sólo en el SAV, sino en todo el océano Atlántico, se debe analizar el fenómeno de mortalidad parcial, en este gran constructor de arrecifes *O. faveolata*, así como los patrones que puedan ayudarnos a comprender más sobre este fenómeno en el SAV, por lo que en este trabajo se analizó la condición actual de la mortalidad parcial en las colonias coralinas de *O. faveolata*, los patrones de orientación y posición de las lesiones por mortalidad parcial y la relación talla-mortalidad parcial. Puesto que no existen muchos estudios de orientación y posición de lesiones es fundamental conocer más sobre estas dos variables.

Objetivo general:

Analizar la condición actual de mortalidad parcial, patrones de orientación y posición de las lesiones en las colonias de *O. faveolata* en tres de los arrecifes del SAV.

Objetivos particulares:

- Determinar el porcentaje de colonias afectadas por mortalidad parcial, así como el porcentaje de colonias afectadas por mortalidad parcial antigua y mortalidad parcial reciente, y la diferencia entre los tres arrecifes.
- Determinar el porcentaje de tejido perdido en promedio, y la diferencia entre los tres arrecifes.
- Determinar la frecuencia en la que aparecen las lesiones de mortalidad parcial con respecto a la posición (central o lateral) así como su proporción de tejido perdido, la orientación (hacia mar abierto o hacia el arrecife) de las lesiones en la colonia y la diferencia entre los tres arrecifes.
- Determinar la relación que existe entre la talla de la colonia y el porcentaje de mortalidad parcial.

## **Materiales y Métodos**

### *Área de Estudio.*

El Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) es un complejo Arrecifal situado frente al Puerto de Veracruz y al poblado de Antón Lizardo en el sur del Golfo de México. Constituido por más de 20 arrecifes de plataforma y costeros, los cuales se dividen en dos grupos norte y sur por la desembocadura del río Jamapa.

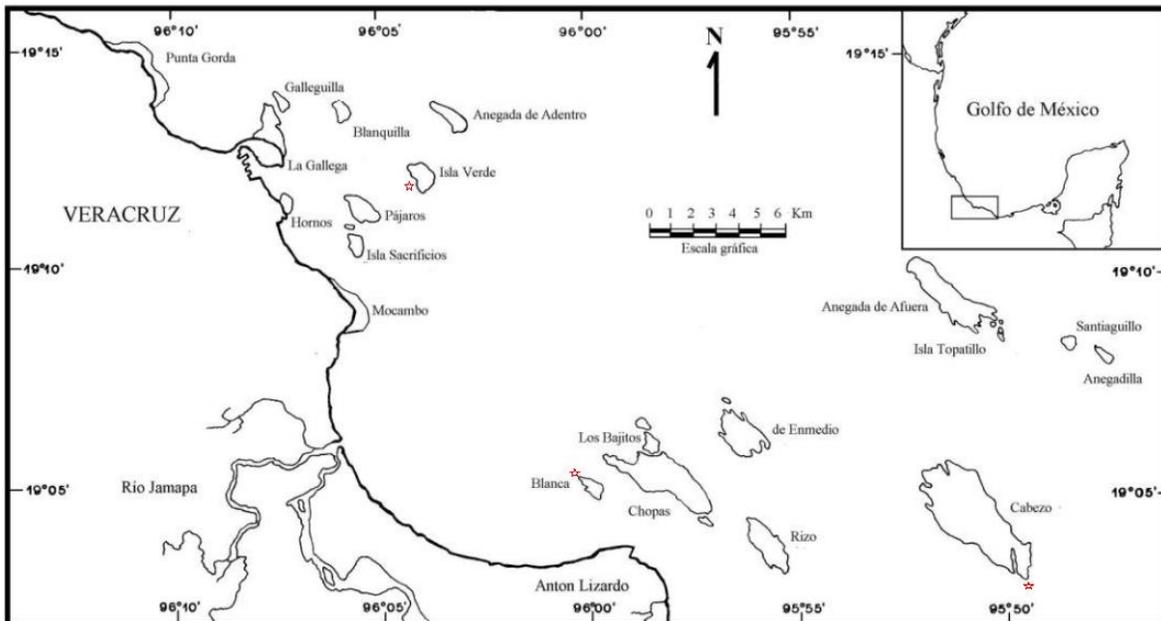
En este estudio se utilizaron 3 arrecifes como zona de estudio, un arrecife del grupo norte: Isla Verde, y dos del grupo sur: La Blanca y Cabezo (Fig. 4) los tres arrecifes son de tipo plataforma los cuales se caracterizan por elevarse del piso marino de profundidades máximas de 40 m, presentando un crecimiento coralino activo desde los 25-27 m hasta la superficie.

Estos arrecifes presentan un talud arrecifal en todas direcciones y presentan la siguiente zonación: (1) Talud de Barlovento o Arrecife Frontal, situado hacia mar abierto, caracterizado por un crecimiento más activo y mayor cobertura coralina, puede presentar un sistema de canales para disipación de la energía del oleaje y escape de sedimentos, en general en esta zona las aguas son relativamente claras con pocos sólidos en suspensión; (2) Cresta Arrecifal o Zona de Bloques, se localiza hacia el margen E (East) del arrecife, es una zona de máxima energía por el constante batir del oleaje el cual rompe en esta zona, su profundidad no va más allá de 3 m, y se ve ampliamente afectada por las fluctuaciones de la marea, está constituida básicamente por bloques de coral muerto, el crecimiento coralino está muy restringido; (3) Planicie Arrecifal (también denominada Plataforma o Laguna Arrecifal), representa la parte superior del arrecife, donde localizamos comunidades someras dispersas de corales, comunidades de pastos marinos y otras especies, las profundidades fluctúan entre 0.5-2.0 m, las aguas son claras con escaso movimiento; y (4) Talud de Sotavento o Arrecife Posterior, se localiza hacia el W (West), es una zona de crecimiento coralino activo, hasta los 20 m de profundidad aproximadamente, generalmente con menor cobertura pero mayor diversidad coralina que el Talud frontal, las aguas presentan poco movimiento y mucho material sólido en suspensión (Lara *et al.* 1992).

El arrecife Isla Verde es un arrecife que se localiza a los 19°11'50" N y 96°04'06" W a 5.3 km de la costa. Mide 1.1 km en su eje más largo (NW-SE) con 750 m de ancho, presenta un cayo emergido de 225 m de largo por 125 de ancho.

El arrecife Cabezo es un arrecife que se localiza a los  $19^{\circ}03'11''$  N y  $94^{\circ}48'15''$  W, a 15.2 km de la costa; su eje más largo tiene una longitud de 6.2 km (NW-SE).

El arrecife La Blanca es un arrecife que se localiza a los  $19^{\circ}05'06''$  N y  $95^{\circ}59'57''$  W, a 2.6 km de la costa. Su eje más largo mide 0.8 km (NW-SE) (Chávez *et al.* 2007, Horta-Puga y Tello-Musi 2009,).



**Figura 3. Mapa del SAV, los sitios de muestreo (arrecifes) están marcados con una estrella color rojo (Horta-Puga y Tello Musi, 2009).**

## Diseño metodológico

Los datos de este estudio forman parte del proyecto CONABIO: Sistema Arrecifal Veracruzano: Condición Actual y Programa Permanente de Monitoreo GM005. Para realizar este trabajo se seleccionaron 3 arrecifes del SAV, uno del grupo norte: Isla Verde y dos arrecifes del grupo sur: Cabezo y La Blanca, en cada uno de los arrecifes se seleccionaron los puntos de muestreo en la zona de talud de sotavento para los arrecifes Cabezo e Isla Verde, y talud de barlovento para el arrecife La Blanca pues en estos arrecifes se han registrado mayores tallas y cobertura coralina de esta especie (Horta-Puga y Tello-Musi 2009), de esta manera podremos observar las variaciones de las lesiones de mortalidad parcial en arrecifes de distintos grupos que potencialmente pueden presentar diferencias en la estructura de las comunidades coralinas por la influencia de la descarga de los ríos y su cercanía al puerto. El muestreo se realizó en Marzo del 2014 mediante buceo autónomo (SCUBA) en profundidades entre 9 y 12 metros por ser las profundidades que presentan mayor desarrollo coralino (Horta-Puga 2003), y se realizó con buceo errante. En cada arrecife se realizaron dos inmersiones con duración aproximada de una hora cada una, tiempo durante el cual se analizó el mayor número de colonias posibles de *O. faveolata*.

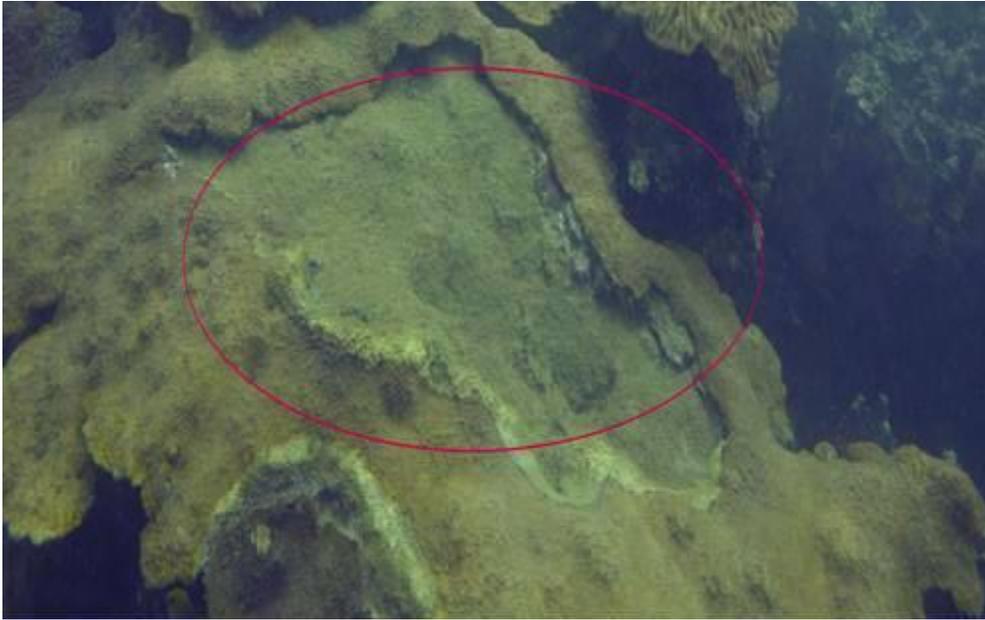
El porcentaje de mortalidad parcial se estimó visualmente en cada colonia, primero se determinó el porcentaje total de mortalidad parcial de cada colonia y posteriormente se identificó las tres lesiones de mortalidad parcial con mayor proporción de tejido perdido que se encontraban en distintos sitios de cada colonia y asignarles un porcentaje del total: lesión 1= tejido perdido de mayor proporción, lesión 2= tejido perdido de proporción media, lesión 3= tejido perdido de proporción más baja (Fig. 4), los tres tipos se pudieron encontrar en una sola colonia. El tipo de mortalidad parcial se analizó visualmente y se dividió en mortalidad parcial reciente y antigua. La posición de las lesiones se dividió con base al eje de crecimiento de la colonia y se clasificó en laterales: por ubicarse en las orillas de las colonias (Fig. 5) y centrales cuando se presentaban en la parte superior (Fig. 6). Para la orientación de cada lesión lateral se utilizó una brújula para ayudar a determinar si las lesiones laterales se encontraban orientadas hacia el arrecife o hacia mar abierto. Para obtener las tallas en cada organismo se midió en vista superior, tomando el eje de crecimiento de la colonia, el diámetro máximo, el diámetro perpendicular (con respecto al diámetro máximo), y la altura a partir del sustrato en el que se encuentra el organismo, esto con la ayuda de un tubo de pvc de un metro marcado cada 5 cm.



**Figura 4.** Esquema de un coral en vista superior, ejemplifica como se midieron las lesiones de mortalidad parcial, lesión 1= tejido perdido de mayor proporción, lesión 2= tejido perdido de proporción media y lesión 3= tejido perdido de proporción más baja.



**Figura 5. Imagen de Mortalidad parcial lateral**  
 Sistema Arrecifal Veracruzano. Banco de imágenes del proyecto GM005.



**Figura 6. Imagen de mortalidad parcial central.**  
Sistema Arrecifal Veracruzano. Banco de imágenes del proyecto GM005.

## Trabajo de gabinete

Con los datos tomados en campo se realizó una base de datos para cuantificar los datos de interés que son: Colonias afectadas por mortalidad parcial, porcentaje perdido en promedio y talla.

### Colonias afectadas por mortalidad parcial

$$MP = \frac{\sum Col}{Tc}$$

Dónde

$\sum Col$  = suma de colonias afectadas por mortalidad parcial.

Tc= Total de colonias.

Esta fórmula nos indica el porcentaje de colonias afectadas por mortalidad parcial.

### Porcentaje de tejido perdido en promedio por mortalidad parcial total (tpp)

$$TPP = \frac{\sum \%}{Tc}$$

Dónde:

$\sum \%$  = suma de los porcentajes de las colonias afectadas.

Tc = total de colonias afectadas.

Esta fórmula nos indica el porcentaje de tejido perdido en promedio de todas las colonias afectadas por arrecife.

### Talla

La talla se calculó con la siguiente fórmula:

Talla (diámetro promedio) =  $[\text{Diámetro Máximo} + \text{Diámetro Perpendicular} + (\text{Altura} \times 2)]/3$

## **Análisis estadísticos**

Para analizar las diferencias de las variables de este estudio se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis la cual en sus supuestos no exige normalidad en los datos y que se cuente con 3 poblaciones o más, y debido a las variaciones del tamaño de la muestra y que además se contaba con 3 poblaciones (Quinn y Keough 2002) se tomó la decisión de usar esta prueba. También se realizó un Análisis de correlación lineal, las pruebas y gráficos se realizaron en el programa SigmaPlot 13.0 Software, Inc.

## **Resultados**

### **Arrecife La Blanca (barlovento)**

#### **Colonias afectadas por mortalidad parcial (MPT).**

De las 61 colonias de *O. faveolata* muestreadas en el arrecife La Blanca, 52 presentaron mortalidad parcial, es decir la mayor parte de las colonias está afectada. Las lesiones totales van desde el 5% en los casos menos graves, hasta el 60% (Tabla 1) en los casos más extremos.

#### **Tipo de mortalidad parcial (TP).**

En cuanto el tipo de mortalidad parcial se encontró que 49 colonias de las 61 presentaron mortalidad parcial antigua y tan solo 3 mortalidad parcial reciente (Tabla1,).

#### **Posición y frecuencia de lesiones (L, P).**

Se registraron un total de 81 lesiones en las colonias coralinas, del total de lesiones 62 fueron registradas en la parte central y 18 lesiones en la parte lateral (Tabla 1), la mayoría de las lesiones registradas en las colonias se encuentran en la parte central, de las 61 colonias 22 tienen más de una lesión.

#### **Orientación de lesiones laterales.**

En este arrecife hubo una mayor frecuencia de lesiones de mortalidad parcial orientadas hacia mar abierto (Fig. 7).

#### **Tallas (Talla cm).**

Las tallas en este arrecife fueron desde los 10 cm la colonia más pequeña hasta los 107 cm la colonia más grande (Tabla 1).

Tabla 1  
La Blanca

#	Talla cm	MPT %	L1 %	P1	L2 %	P2	L3 %	P3	Pf m	TP	Total
1	<b>107</b>	10	10	C					10	A	
2	33	15	10	C	5	C			10	A	
3	15	10	5	C					10	A	
4	52	25	20	C	5	C			10	A	
5	23	5	5	C					10	A	
6	55	10	10	L/3					12	A	
7	15	15	10	C	5	C			12	A	
8	15	<b>5</b>	5	C					12	A	
9	22	<b>5</b>	5	C					12	A	
10	22	<b>5</b>	5	C					12	A	
11	13								12		
12	35	10	5	C	3	C			12	A	
13	18	15	10	C					12	A	
14	35	<b>5</b>	5	C					12	A	
15	27	20	10	C	5	C			12	A	
16	25								12		
17	48	10	5	C					12	A	
18	22								12		
19	25	10	5	C	5	C			12	A	
20	18								12		
21	22	10	5	C	5	C			12	A	
22	13	<b>5</b>	3	C	2	L/12			12	A	
23	52	<b>5</b>	5	L/12					12	R	
24	28	<b>5</b>	5	C					12	R	
25	28	<b>5</b>	5	C					12	R	
26	60	<b>5</b>	5	C					12	A	
27	30	10	10	C					12	A	
28	78	35	15	C	15	C	5	C	12	A	
29	13	<b>5</b>	5	C					11	A	
30	15	<b>5</b>	5	C					11	A	
31	27	15	5	C	5	C			11	A	
32	42								11		
33	13	10	5	C	3	L/5	2	L/12	11	A	
34	30	10	5	C	5	C			11	A	
35	42	<b>5</b>	5	C					11	A	
36	20	10	5	C					11	A	
37	15	20	10	C	5	C	5	C	11	A	
38	32	15	10	L/9					11	A	
39	18	60	50	C	5	L/5			11	A	
40	15	<b>5</b>	5	C					11	A	
41	37	30	10	C	5	L/7	5	L/6	11	A	
42	40	<b>60</b>	20	C					11	A	
43	17	40	5	C	30	C	10	C	11	A	
44	17	<b>5</b>	5	C					11	A	

**Tabla 1 Continuación**

#	Talla cm	MPT %	L1 %	P1	L2 %	P2	L3 %	P3	Pf m	TP	Total
45	25	15	10	L/6					11	A	
46	25	<b>5</b>	5	L/8					11	A	
47	22	10	5	C	3	C			11	A	
48	37	20	10	L/9	10	L/7			11	A	
49	23	10	5	L/12	3	L/9			11	A	
50	12	<b>5</b>	5	C					11	A	
51	13								11		
52	12	20	10	L/6	5	L/3	5	C	11	A	
53	33	10	5	C					11	A	
54	32								11		
55	12	<b>5</b>	5	C					11	A	
56	13								11		
57	12	30	15	C	5	C			11	A	
58	<b>10</b>	10	10	C					11	A	
59	32	15	10	C	5	L/9			11	A	
60	35	30	20	C	10	C			11	A	
61	32								11		
Total	Pr.28		52	C=44 L=8 C+L=52	23	C=15 L=8 C+L=23	6	C=4 L=2 C+L=6		A=49 R=3	C=63 L=18 C+L=81

DM= Diámetro Máximo, DP= Diámetro perpendicular, A=Altura, MPT= Mortalidad parcial total, L1= Lesión 1, P1= Posición 1, L2= Lesión 2, P2= Posición 2, L3= Lesión 3, P3= Posición 3, C= Central, L= Lateral, Pf= Profundidad, TP= Tipo de Mortalidad parcial, Pr.=promedio, en negrita datos descritos en resultados.



**Figura 7. Arrecife La Blanca las coordenadas indican el punto exacto de muestreo (Tomada de Google Earth).**

## **Arrecife Cabezo**

### **Colonias afectadas por mortalidad parcial (MPT).**

En este arrecife todas las colonias muestreadas presentaron mortalidad parcial, 45 en total, la gravedad de las lesiones en este arrecife van desde el 5% hasta el 80% en el caso más grave (Tabla 2.).

### **Tipo de mortalidad parcial (TP).**

En cuanto al tipo de mortalidad parcial las colonias presentaron en su mayoría mortalidad parcial antigua pues 41 colonias de 45, y solo 4 de mortalidad parcial reciente (Tabla 2, TP).

### **Posición y frecuencia de lesiones (L, P).**

En el Arrecife Cabezo se encontró un total de 112 lesiones de las cuales 82 se situaron en la parte central de las colonias y 30 en la parte lateral, de las 45 colonias 37 presentaron más de una lesión (Tabla 2, Total).

### **Orientación de lesiones laterales.**

En este arrecife la mayor parte de las lesiones están orientadas hacia mar abierto del punto de muestreo (Fig. 8).

### **Tallas (Talla cm).**

Las tallas que presentan las colonias en este arrecife van desde los 25 cm hasta los 210 cm (Tabla 2, Talla cm).

Tabla 2  
Cabezo

#	Talla cm	MPT %	L1 %	P1	L2 %	P2	L3 %	P3	Pf (m)	TP	Total
1	103	30	20	C	5	L/3	5	L/9	9	A	
2	97	25	15	C	5	L/2	5	L/8	9	A	
3	100	30	20	C	5	L/5	5	L/6	9	A	
4	97	15	10	C	10	C			9	A	
5	80	20	20	L/12	5	C	5	C	9	A	
6	123	35	20	L/9	10	C	5	C	9	A	
7	107	40	20	L/6	10	C	5	L/12	9	A	
8	93	20	10	C	5	C			9	A	
9	137	30	20	C	5	L/9	5	L/9	9	A	
10	93	20	10	C	5	C			9	A	
11	90	25	10	C	10	L/9	5	L/9	9	A	
12	78	20	10	C	5	L/6	5	L/6	9	A	
13	67	25	10	C	10	C	5	L/6	9	A	
14	30	10	30	L/12					9	R	
15	50	35	10	C					9	A	
16	65	20	10	C	5	L/3	5	L/6	9	A	
17	43	15	20	C	5	L/6			9	A	
18	93	40	15	C	10	C	10	L/9	9	A	
19	87	35	10	C	15	C	5	L/6	9	A	
20	73	25	10	C	5	L/6	5	L/3	9	A	
21	80	20	10	C	10	C			9	A	
22	42	20	20	C					9	A	
23	93	40	20	C	20	C			9	A	
24	157	40	10	C	5	C	5	L/6	12	A	
25	47	15	5	C	5	C	5	C	12	A	
26	92	25	20	C	5	C			12	A	
27	43	20	10	L/10	5	C	5	C	12	A	
28	93	20	15	C	5	C			12	A	
29	50	<b>80</b>	30	C	10	C	10	C	12	A	
30	92	20	10	C	5	C	5	C	12	R	
31	83	15	10	C	5	C			12	A	
32	45	25	15	C	10	C			12	A	
33	<b>25</b>	15	10	C	5	L/4			12	R	
34	42	15	10	C	5	C			12	A	
35	43	10	10	C					12	A	
36	70	40	30	C	5	C	5	C	12	A	
37	80	70	50	C	15	C	5	C	12	A	
38	77	15	10	C	5	C			12	A	
39	63	25	15	C	5	C	5	C	12	A	

Tabla 2 continuación

40	95	<b>5</b>	2	L/6	3	L/7			12	A
41	55	10	5	C	5	C			12	R
42	<b>210</b>	40	20	C	110	C	5	C	12	A
43	123	25	10	C	5	C	5	C	12	A
44	97	30	15	C	10	C	5	C	12	A
45	137	25	10	C	5	C	5	C	12	A
Total				C=39	C=30	C=13			A=41	C=82
Pr.83				L=6	L=11	L=13			R=4	L=30
				C+L=45	C+L=41	C+L=26				C+L=112

DM= Diámetro Máximo, DP= Diámetro perpendicular, A=Altura, MPT=Mortalidad parcial total, L1= Lesión 1, P1= Posición 1, L2= Lesión 2, P2= Posición 2, L3= Lesión 3, P3= Posición 3, C= Central, L=Lateral, Pf= Profundidad, TP= Tipo de Mortalidad, Pr.=promedio, en negrita datos descritos en resultados.



Figura 8. Arrecife Cabezo las coordenadas indican el punto exacto de muestreo (Tomada de Google Earth).

## **Arrecife Isla Verde**

En este arrecife se analizaron mucho menos colonias que en los demás debido a la poca visibilidad durante el muestreo.

### **Colonias afectadas por mortalidad parcial (MPT).**

En este arrecife al igual que en el Arrecife Cabezo todas las colonias presentaron mortalidad parcial, con lesiones que van del 10% hasta el 90% las de mayor gravedad (Tabla 3).

### **Tipo de mortalidad parcial (TP).**

En cuanto al tipo de mortalidad parcial tenemos que 18 colonias presentaron mortalidad parcial antigua y 4 colonias mortalidad parcial reciente (Tabla 3).

### **Posición y orientación de las lesiones de mortalidad parcial (L, P).**

En este arrecife las colonias de *O. faveolata* presentaron un total de 51 lesiones de las cuales 24 se encontraron en las zonas centrales y 27 en las zonas laterales (Tabla 3), de las 22 colonias 17 tenían más de una lesión.

### **Orientación de lesiones laterales.**

La orientación de las lesiones del arrecife Isla Verde muestra una mayor frecuencia hacia el arrecife (Fig. 9).

### **Tallas (Talla cm).**

Las tallas de las colonias de *O. faveolata* en este arrecife van desde 53 cm la colonia más pequeña hasta los 257 cm la colonia de mayor tamaño (Tabla 3).

**Tabla 3**  
**Isla Verde**

#	Talla cm	MPT %	L1 %	P1	L2 %	P2	L3 %	P3	Pf (m)	TP	Total
1	<b>53</b>	30	10	L/1	5	C			10	A	
2	80	<b>10</b>	5	C					9	R	
3	123	40	15	C	5	L/1	5	C	8	A	
4	92	15	10	C					9	A	
5	65	20	10	C	5	L/10	5	L/12	10	A	
6	133	25	15	L/4	5	C	5	L/1	9	A	
7	170	20	10	C	5	L/8			9	R	
8	143	35	20	L/12	5	L/1	5	C	9	A	
9	130	25	5	C	5	L/6	5	C	10	A	
10	177	30	10	L/5	5	C	5	C	8	A	
11	97	20	20	C					9	A	
12	115	30	10	C	5	L/6			9	A	
13	217	50	35	C	10	L/12			10	A	
14	108	50	40	L/3					9	A	
15	187	<b>90</b>	15	C	10	L/8	5	L/3	9	A	
16	203	40	20	C	5	L/9	5	L/6	9	R	
17	110	35	15	C	10	C	5	L/4	9	R	
18	<b>257</b>	20	10	C	5	L/12			9	A	
19	165	50	20	L/12	5	L/1	5	L/4	9	A	
20	183	30	10	L/3	5	C	5	C	9	A	
21	147	20	5	L/4					9	A	
22	193	30	15	C	5	L/6	5	L/12	8	A	
Total				C=14 L=8 C+L=22	C=5 L=12 C+L=17	C=5 L=7 C+L=12	A=18 R=4	C=24 L=27 C+L=51			

DM= Diámetro Máximo, DP= Diámetro perpendicular, A=Altura, MPT=Mortalidad parcial total, L1= Lesión 1, P1= Posición 1, L2= Lesión 2, P2= Posición 2, L3= Lesión 3, P3= Posición 3, C=Central, L=Lateral, Pf= Profundidad, TP= Tipo de Mortalidad, Pr.=promedio, en negrita datos descritos en resultados.



**Figura 9. Arrecife Isla Verde las coordenadas muestran el punto exacto de muestreo (Tomada de Google Earth).**

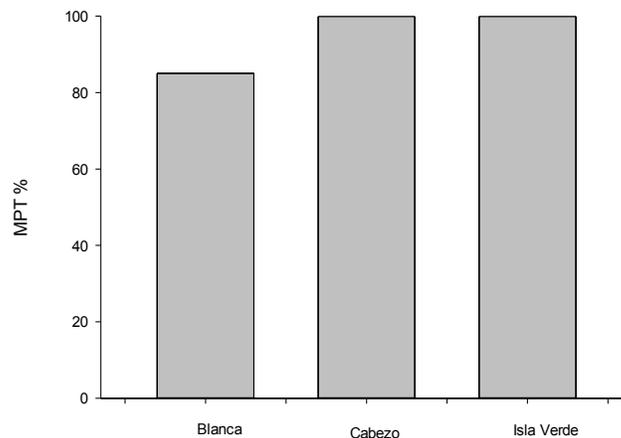
## Discusión

### Colonias afectadas y porcentaje de tejido perdido en promedio

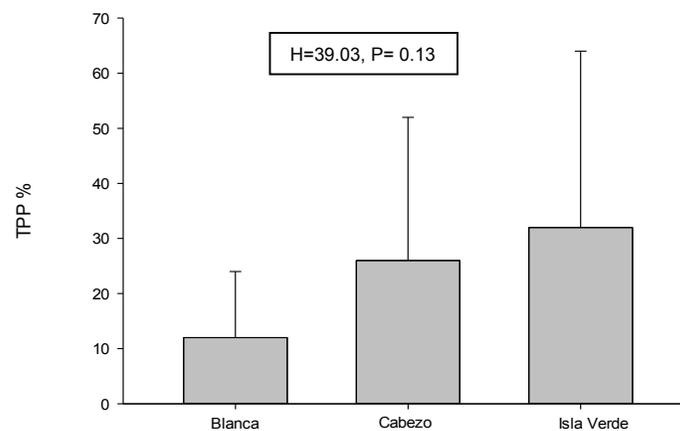
Para el número de colonias afectadas por mortalidad parcial, se puede observar (Fig. 10) que en el arrecife La Blanca se encuentran menor número de colonias afectadas con el 85% a diferencia del arrecife Cabezo e Isla Verde en los cuales el 100 % de las colonias analizadas presentó mortalidad parcial, aunque se esperaría que el arrecife Isla Verde estuviera más afectado, pues en general los arrecifes del grupo norte están en condiciones de salud más precarias que los del grupo sur (Horta-Puga y Tello-Musi 2009) ya que los arrecifes del grupo norte están más cercanos al puerto, aunque pueden estar involucrados otros factores bióticos y abióticos como pueden ser la sedimentación, las tallas, la prevalencia de enfermedades (Hughes y Jackson 1985, Hughes 1984) y muchos otros procesos que se ven involucrados en la pérdida de tejido en los corales, lo grave de estos resultados es que estos arrecifes están seriamente afectados por el fenómeno de mortalidad parcial si tenemos en cuenta que número de colonias afectadas en el Atlántico es del 28 % (Kramer 2003), es de preocuparse que del 80 al 100 % de las colonias de *O. faveolata* en el SAV estén afectadas por mortalidad parcial.

En cuanto al porcentaje de tejido perdido promedio se puede observar (Fig. 11) que las colonias del arrecife Isla Verde presentan mayor tejido perdido promedio, las colonias del arrecife La Blanca son las que menos tejido perdido promedio presentan seguido por el arrecife Cabezo, nuevamente el arrecife del grupo norte Isla Verde está más afectado pues presenta mayor porcentaje de tejido perdido promedio, aunque estas diferencias no fueron estadísticamente significativas (Prueba de Kruskal-Wallis  $H=39.03$ ,  $P= 0.13$ ) lo cual sugiere que los arrecifes están impactados de igual forma aunque no precisamente por los mismos factores.

Las diferencias de colonias afectadas y tejido perdido en promedio pueden ser por diversos factores que impidan la eficiencia de recuperación de tejido como pueden ser enfermedades, depredación de peces, cultivo de césped algal de peces damisela en corales y competencia con otros invertebrados (Bruckner y Bruckner 2006, Precht *et al.* 2010), en el presente estudio solo podemos decir que estos factores pueden actuar de manera aleatoria y con un impacto semejante en los tres arrecifes puesto que no hay diferencias significativas.



**Figura 10. Colonias afectadas por mortalidad parcial, La Blanca n= 61, Cabezo n=45, Isla Verde n= 22.**

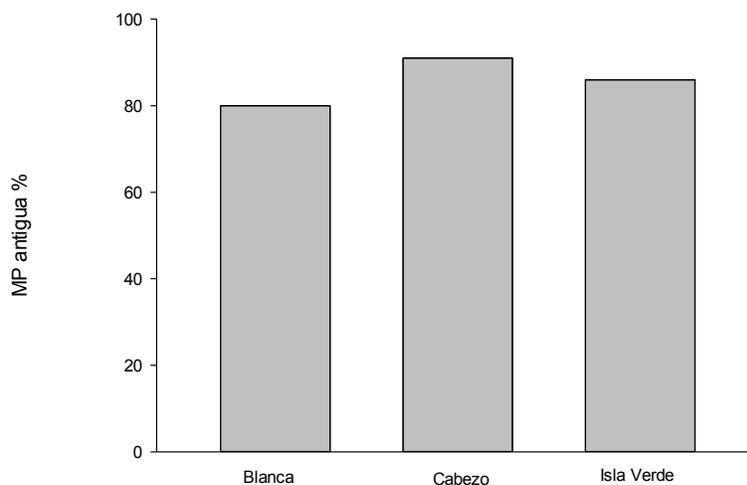


**Figura 11. Tejido perdido promedio La Blanca n= 61, Cabezo n=45, Isla Verde n= 22.**

**Valores de H y P de la prueba de Kruskal-Wallis (PKW).**

## Tipo de mortalidad parcial

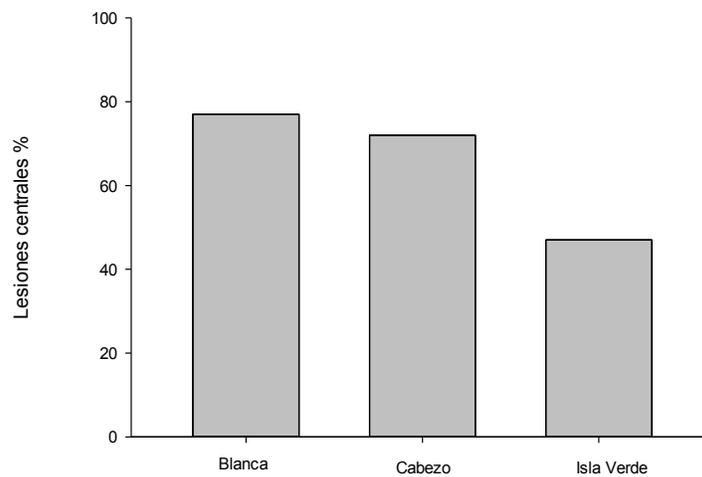
La mortalidad parcial se divide en dos tipos reciente: en la cual no se observan organismos viviendo en la lesión del coral y antigua: en la que se observan organismos viviendo en la lesión coralina, la mortalidad parcial antigua nos indica que las perturbaciones que ocasionaron esas lesiones en su mayoría fueron eventos pasados (Hughes and Jackson 1985, Bythell *et al.* 1993). Como puede observarse (Fig. 12) el tipo de mortalidad antigua en los tres arrecifes es mucho mayor que la mortalidad parcial reciente con el 80% el arrecife La Blanca, el 91 % el arrecife Cabezo y el 86 % el arrecife Isla Verde, Kramer en 2000 reportó para Veracruz menos del 1% de mortalidad parcial reciente y cerca del 10 % de mortalidad parcial antigua en Veracruz, Horta Puga en 2003, reportó en el SAV que las poblaciones coralinas presentaban menos del 1% de mortalidad parcial reciente y el 12 % de mortalidad parcial antigua, y en 2009 Horta-Puga y Tello-Musi tuvieron resultados muy similares a los de este estudio, ellos encontraron que en el SAV el 93.6 % de las colonias coralinas en el SAV son afectadas por mortalidad parcial antigua. Las causas de la mortalidad parcial se deben a varios procesos naturales como pueden ser por organismos (Bruggemann *et al.* 1994), tormentas (Bythell *et al.* 1993), enfermedades (Peters 1984) y abrasión por sedimentos pero que pudieron ser acumulativos y no dejar recuperar ese tejido rápidamente (Smith *et al.* 2008) dando como resultado mortalidad parcial antigua.



**Figura 12. Porcentaje de mortalidad antigua por arrecife. La Blanca: n= 61, Cabezo: n= 45, Isla Verde: n= 22.**

### Posición de las lesiones de mortalidad parcial

En cuanto a la posición de las lesiones como podemos observar (Fig. 13), el arrecife La Blanca presenta mayor porcentaje de lesiones centrales casi con igual porcentaje que Cabezo 77 y 72 % respectivamente, Isla Verde es quien presenta menos lesiones centrales con el 47 %, los tres arrecifes presentan un alto porcentaje de lesiones en la parte central de las colonias solo el arrecife Isla Verde presenta una proporción de casi 50% lesiones centrales y 50% lesiones laterales.



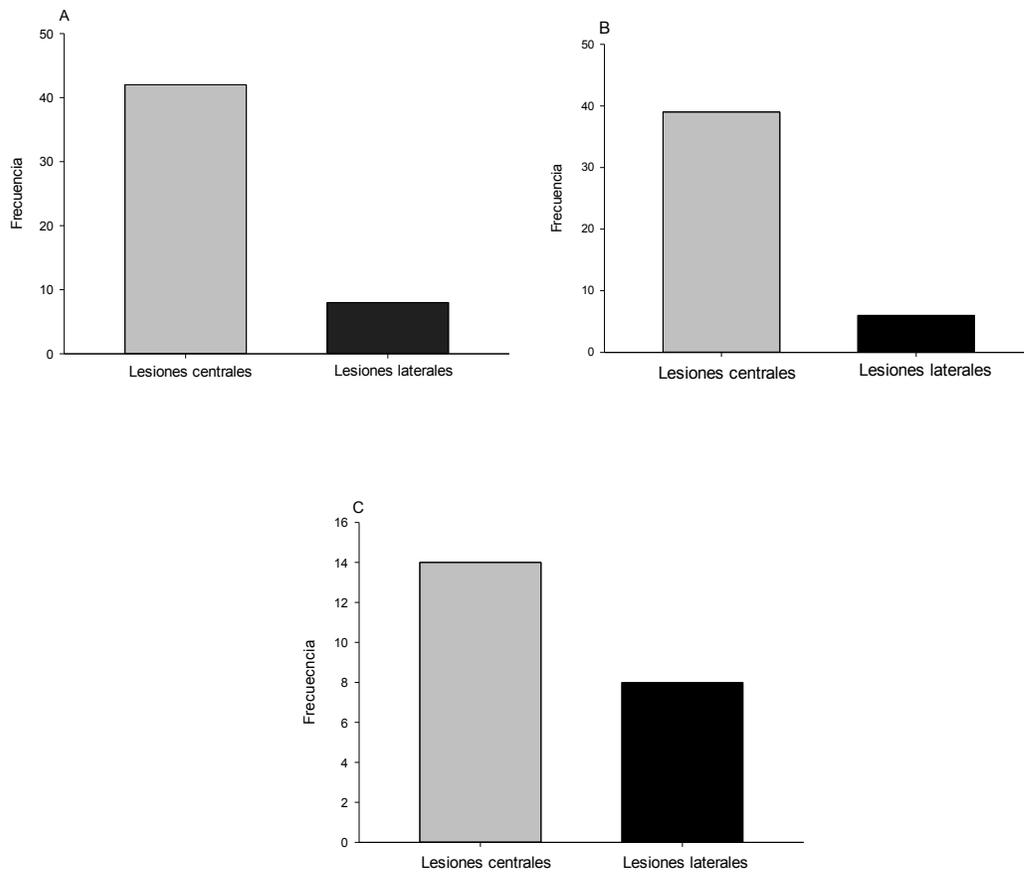
**Figura 13. Porcentaje de lesiones centrales, La Blanca n= 81, Cabezo n= 112, Isla Verde n= 57.**

### Factores que pueden estar involucrados en la prevalencia de lesiones centrales

No existen muchos estudios en los que se haya analizado a detalle el origen de las lesiones en distintas partes de corales masivos (como en el presente estudio lesiones centrales y laterales), aunque se ha visto que los peces damisela cultivan densos jardines algales sobre *O. faveolata* (Precht *et al.* 2010) lo cual ocasiona lesiones centrales en las colonias, esta relación entre los peces damisela y las colonias de *O. faveolata* se ha observado en el SAV (Tello-Musi Com. Pers.), aunque solo se puede decir que el o los factores que provocan una mayor prevalencia de lesiones centrales en las colonias de *O. faveolata* afectan de igual manera a los tres arrecifes, ya que no se tomaron en cuenta los posibles agentes causales en el presente estudio.

Puede haber otros factores que ocasionen lesiones centrales en las colonias coralinas como la enfermedad de la banda amarilla que afecta a varias especies de corales (Weil *et al.* 2002, Cróquer y Weil 2009), Work y Aeby en 2006, describen las lesiones de la enfermedad de la banda amarilla con una distribución difusa y localización central en las colonias. Work y Aeby también describen la enfermedad banda negra como una enfermedad de distribución difusa y localización que va del centro a la periferia de la colonia.

Se analizó la frecuencia de la lesión de mayor tamaño con respecto a su posición en la colonia, con la finalidad de identificar si las lesiones de mayor tamaño se encuentran con mayor frecuencia en la zona central o lateral de colonia, y como se puede observar (Fig. 14), las lesiones de mayor proporción de tejido perdido se encuentran con mayor frecuencia en la parte central de las colonias de *O. faveolata*, la frecuencia de las lesiones de mayor tamaño se comporta de manera similar en los tres arrecifes.



**Figura 14. Frecuencia de la posición de las lesiones de mayor tamaño A: Lesiones del arrecife La Blanca (n= 50 lesiones, 42 C, 8 L). B: Lesiones del arrecife Cabezo (n= 45 lesiones, 39 C, 6 L), C: Lesiones del arrecife Isla Verde (n= 22 lesiones, 14 C, 8 L).**

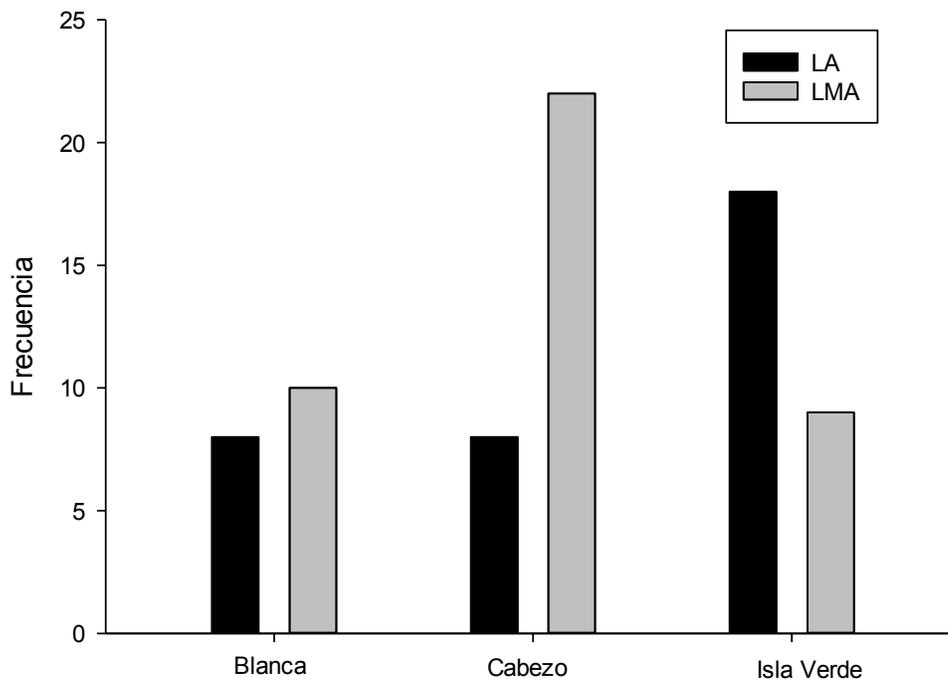
## **Factores que pueden estar relacionados en el tamaño de las lesiones**

Las mordidas de peces loro (Scaridae) son frecuentes en esta especie (Garzon-Ferreira y Reyes-Nivia 2001), y se ha reportado que las mordeduras producen lesiones pequeñas (Bruckner *et al* 2000), aunque es factible que cualquier agente que cause lesiones esté involucrado en las lesiones de menor tamaño, pues si la colonia coralina lograra detener la progresión de alguna lesión rápidamente, no llegaría a tener un gran tamaño.

El mayor porcentaje de lesiones en las partes centrales de la colonia y además la mayor frecuencia de encontrar lesiones más grandes en la zona central pueden representar algo sumamente riesgoso para las colonias coralinas pues la mortalidad parcial en el centro de las colonias interrumpe la integración de las colonias pues en varios casos se fragmenta la colonia (Nugues y Roberts 2003), mientras que la mortalidad parcial en las periferias sólo reducen el tamaño de la colonia manteniéndola integrada (Graham y Van Woesik 2013), además es posible que los pólipos que se encuentran en la zona de la periferia tengan menor fecundidad que los pólipos centrales pues Soong y Lang en 1992 y Sakai en 1998 reportan esto, aunque para otras especies, también pueden dedicar más energía a reparar el tejido perdido que a su reproducción (Hughes y Jackson 1980, Van Veghal y Kahmann 1994, Sakai 1998, Porto *et al.* 2014,). Aunado a esto, también se ha documentado que el tiempo de recuperación es proporcional al tamaño de la lesión (Van Woesik 1998, Bavestrello *et al.* 1999), por lo que un mayor número de lesiones grandes al centro de las colonias de *O. faveolata* pueden resultar un gran problema en el SAV.

### Orientación de lesiones laterales

En cuanto a la orientación de las lesiones laterales que se analizó para determinar si existía un patrón de orientación de las lesiones hacia mar abierto o hacia el arrecife, como se puede observar (Fig. 15) las lesiones por mortalidad parcial laterales del arrecife La Blanca y Cabezo están más frecuentemente orientadas hacia mar abierto, por otra parte Isla Verde presenta una mayor frecuencia de orientación de lesiones por mortalidad parcial hacia el arrecife, tomando como referencia su respectivo punto de muestreo de cada arrecife; arrecife La Blanca (Fig. 7), arrecife Cabezo (Fig. 8) y arrecife Isla Verde (Fig. 9).



**Figura 15. Frecuencia de la orientación de lesiones laterales, LA= Lesiones orientadas hacia el arrecife, LMA= Lesiones orientadas hacia mar abierto, La Blanca n=18 (8 LA, 10 LMA), Cabezo n=30 (8 LA, 22 LMA), Isla Verde n= 27 (18 LA, 9 LMA).**

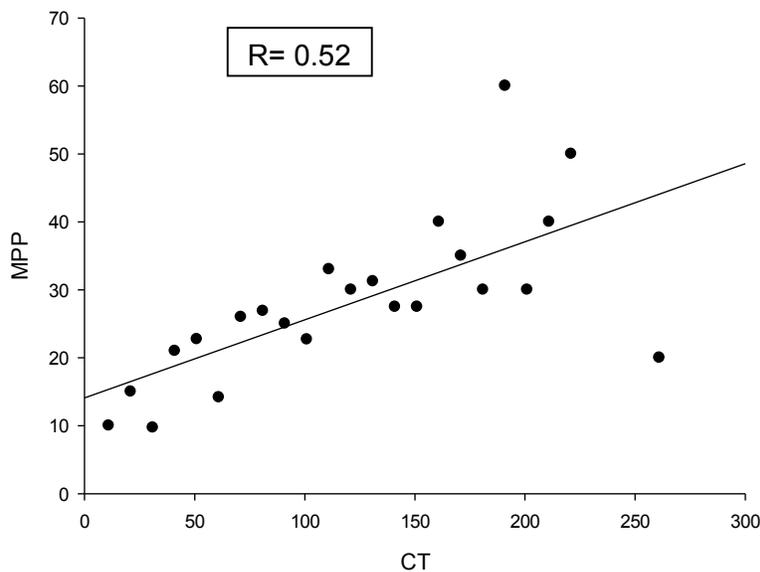
Al parecer los factores que pudieran involucrar la orientación de lesiones laterales afectan de igual manera en los arrecifes del grupo sur La Blanca y Cabezo, pero diferente en el de arrecife Isla Verde del grupo norte, las causas pueden ser diversas y suceder de forma aleatoria en los tres arrecifes, no existen estudios en lo que se haya analizado esto antes, solo podemos mencionar algunos agentes que pueden estar involucrados.

### **Factores que pueden estar involucrados en la orientación de lesiones laterales**

La sombra que se proyecta por el mismo arrecife (Goreau y Goreau 1973, Obura 2005) puede afectar pues las partes del coral que están orientadas hacia el arrecife pueden recibir menos luz solar a pesar del fenómeno de dispersión óptica, lo cual significaría menos efectividad fotosintética de las zooxantelas simbiotas de los corales quienes son de vital importancia para proveer de energía y mantener el crecimiento del tejido y el esqueleto (Szmant y Gassman 1990), aunque también las algas (Lirman 2001, Box y Mumby 2007) e incluso otros corales (Jokiel 2011) pueden provocar un efecto de sombreo, otro factor puede ser la sedimentación provocada por el mismo depósito de sedimentos en el talud o generados por el mismo arrecife ya que generan un volumen de sedimentos equivalente a su masa en crecimiento (Hubbard 1986), las lesiones de los corales pueden sufrir abrasión de estos sedimentos (Meesters *et al.* 1996) e incluso dañar el coral (Winter y Loya 2000) es posible que otros factores puedan estar involucrados, ya que no se midieron estas variables quizás sea interesante tomarlas en cuenta en otra investigación.

## Correlación entre la talla y el tejido afectado por mortalidad parcial

Para determinar si había una relación entre la talla y el porcentaje de tejido afectado por mortalidad parcial de cada colonia se realizó una regresión lineal (Fig. 16) y un análisis de correlación, el cual, mostro una correlación moderada ( $R= 0.52$ ,  $P= <0.05$ ) y significativa por lo que se puede decir que el 52% de la mortalidad parcial depende del tamaño de las colonias coralinas, es decir que mientras aumentan en tamaño las colonias también aumenta el porcentaje de mortalidad parcial, esto coincide con un estudio realizado por Bruckner y Bruckner en 2006, ellos observaron la correlación entre el tamaño y la mortalidad parcial de cada una de las colonias de *Orbicella annularis* y *O. faveolata*, encontraron que no había correlación en *O. annularis* mientras que en *O. faveolata* si, ellos atribuyen este resultado a la enfermedad de la banda amarilla la cual observaron únicamente las colonias más grandes, en otro estudio Bak y Meesters (1998) encontraron una relación entre el tamaño de las colonias y el porcentaje de mortalidad parcial de las colonias de *Agaricia agaricites* y *Meandrina meandrites* en Curaçao en el Mar Caribe.



**Figura 16. Correlación entre la talla y la mortalidad parcial, MPP= Mortalidad parcial promedio de cada clase de talla, Ct= Clase de tallas, las clases de tallas se dividieron cada 10 cm, R= coeficiente de correlación.**

Los investigadores que han realizado estudios sobre estas relaciones de talla y mortalidad parcial dicen que los agentes causales de mortalidad parcial en colonias coralinas grandes causan mortalidad parcial total en las colonias pequeñas es decir que las colonias pequeñas probablemente escapan más fácilmente de daños por mortalidad parcial que las colonias grandes pero cuando ocurre algún daño en colonias pequeñas ocurre completamente matándolas (Soong 1993, Meesters *et al.* 1996), Bythell y colaboradores (1993) también mencionan que los daños por factores crónicos aumentan con el tamaño de las colonias coralinas.

## Conclusiones

1. Más del 80 % de las colonias de *O. faveolata* presentan mortalidad parcial. La mayoría de las lesiones son de tipo antigua lo cual indica que no fueron ocasionadas recientemente.
2. Las colonias coralinas de los arrecifes La Blanca, Cabezo e Isla Verde presentan en promedio alta pérdida de tejido, 12, 26 y 32 % respectivamente, pues además de ser muchas colonias las que presentan mortalidad parcial en promedio están perdiendo mucho tejido.
3. Las lesiones en las partes centrales de las colonias son más frecuentes que las lesiones laterales, además de ser también las de mayor proporción de tejido perdido, muchos factores pueden verse involucrados en este tipo de lesiones.
4. Las lesiones laterales presentan una orientación similar entre los dos arrecifes del grupo sur La Blanca y Cabezo con una orientación hacia mar abierto, pero diferente al arrecife del grupo norte Isla Verde con una orientación hacia el arrecife, no se sabe si en realidad exista una influencia del arrecife o de mar abierto en la orientación de las lesiones, o si sólo son factores que actúan aleatoriamente en los tres arrecifes.
5. La talla y la mortalidad se relacionan moderadamente, por lo que al aumentar el tamaño de la colonia también aumenta el porcentaje de mortalidad parcial que presenta, esto puede ser por que las colonias de menor talla mueren totalmente y las colonias de mayor tamaño son las que reflejan más el daño afectado al ser más capaces de sobrevivir.

## Consideraciones finales

El presente estudio, analizo variables que no han sido muy estudiadas en los corales, y que pueden ser importantes para conocer más acerca del fenómeno de mortalidad parcial, así como las causas y consecuencias que ocasionan las lesiones de mortalidad parcial.

Se recomienda realizar más investigación sobre todo en variables como son la posición y orientación de las lesiones en los corales, y diseñar métodos de muestreo que contemplen los factores que pueden estar involucrados en estas variables, como pueden ser: sedimentación, enfermedades (banda negra y banda amarilla), comportamiento de peces loro (depredación y cultivo de algas sobre los corales), efectos de sombreo etc.

Si queremos conservar los arrecifes de coral se debe prestar atención a este tipo de observaciones sobre todo corales “estrella” que son importantes constructores del arrecife como lo es *Orbicella faveolata* pues ya bien dijeron los investigadores Bruckner y Bruckner en 2006 “Si las enfermedades y otros estresores bióticos persisten en los arrecifes, las poblaciones de *O. annularis* y *O. faveolata* podrían decaer de forma similar a como lo hicieron los acropóridos del Caribe durante la década de 1980”, recordemos la importancia de los acropóridos en los arrecifes de coral, y que disminuyeron de manera muy considerable después del fenómeno de blanqueamiento de los ochentas.

## Referencias

- Bak R. P. M. y E. H. Meesters 1998. Coral population structure: the hidden information of colony size-frequency distributions. *Marine Ecology Progress Series*. Vol. 162: 301-306. 1998.
- Bavestrello G., C. Cerrano, R. Cattaneo-Vietti y D. Zanzi. 1999. Epibiosi e mortalità in *Paramuricea clavata* nel Mar Lig-ure. In: Cicogna F, Bavestrello G, Cattaneo-Vietti R (eds), *Biologia e tutela del corallo rosso e di altri ottocoralli del Mediterraneo*. Red Coral and other Mediterranean Octo-corals: Biology and Protection. Ministero per le Politiche Agricole, Rome, p 211–229.
- Budd A.F., H. Fukami, N.D. Smith y N. Knowlton. 2012. Taxonomic classification of the reef coral family Mussidae (Cnidaria: Anthozoa: Scleractinia). *Zoolog J Linn Soc* 166: 465–529.
- Bythell J.C., E.H Gladfelter y M. Bythell. 1993. Chronic and catastrophic natural mortality of three common Caribbean reef corals. *Coral Reefs* 12 (3), 143–152.
- Box J. S. y P. J. Mumby, 2007, Effect of macroalgal competition on growth and survival of juvenile Caribbean corals, Marine Spatial Ecology Laboratory, School of BioSciences, University of Exeter, Prince of Wales Road, Exeter EX4 4PS, UK 2 Coral Cay Conservation, 40–42 Osnaburgh Street, London NW1 3ND, UK.
- Bruckner A.W. y R.J. Bruckner, 2006, The recent decline of *Montastraea annularis* (complex) coral populations in western Curaçao: a cause for concern?, NOAA Fisheries, Coral Reef Conservation Program, Office of Habitat Conservation, 1315 East West Highway, Silver Spring, MD 20910, USA; andy.bruckner@noaa.gov.
- Bruckner A. W. y R. J. Bruckner. 2000. Coral predation by *Sparisoma viride* and lack of relationship with coral disease. In *Proceedings of the 9th International Coral Reef Symposium* (Vol. 2, pp. 1245-1249).

- Bruckner A.W., R.J. Bruckner y P. Sollins (2000) Parrotfish predation on live coral: 'spot biting' and 'focused biting'. *Coral Reefs* 19:50.
- Bruggemann J.H., J. Begeman, E.M. Bosma, P. Verburg y A.M. Breeman. 1994. Foraging by the stolight parrotfish *Sparisoma viride*: II. Intake and assimilation of food, protein and energy. *Marine Ecology Progress Series* 106, 57–71.
- Carricart-Ganivet J.P. y Horta-Puga G. 1993. Arrecifes de coral en México. In: Salazar-Vallejo SI, González NE (eds.), *Biodiversidad Marina y Costera de México*. CONABIO, CIQRO, México, pp. 81–92.
- Chávez Ortiz E.A., J.W. Tunnell Jr. y K. Withers. (2007). Reef zonation and ecology: Veracruz shelf and Campeche bank. *Coral Reefs of the Southern Gulf of Mexico*, W. Tunnel, EA Chávez and K. Withers (eds.). Texas University Press, Huston, 41-67.
- Chávez Ortiz E.A., J.W. Tunnell Jr. y K. Withers. 2010. Zonación y ecología de los arrecifes: Plataforma Veracruzana y Banco de Campeche. Instituto Politécnico Nacional. Cap. 6. Pp. 60-100. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.
- Closek C.J., S. Sunagawa, M. K. De Salvo, Y. M. Piceno, T. Z. De Santis, E. L. Brodie, M. X. Weber, C. R. Voolstra, G. L. Andersen y M. Medina. 2014. Coral transcriptome and bacterial community profiles reveal distinct Yellow Band Disease states in *Orbicella faveolata*, *The ISME Journal* (2014) 8, 2411–2422; doi:10.1038/ismej.2014.85; published online 20 June 2014.
- Croquer A. y E. Weil. 2009. Changes in Caribbean coral disease prevalence after the 2005 bleaching event. *Diseases of aquatic organisms*, 87(1-2), 33-43.
- Cruz-Piñón G., J. P. Carricart-Ganivet, J. Espinoza-Avalos. 2003. Monthly skeletal extension rates of the hermatypic corals *Montastraea annularis* and *Montastraea faveolata*: biological and environmental controls, *Marine Biology* (2003) 143: 491–500, DOI 10.1007/s00227-003-1127-3.

- DeVantier L. M. y R. Endean. 1989. Observations of colony fission following ledge formation in massive reef corals of the genus *Porites*, Impact Factor: 2.64 · DOI: 10.3354/meps058191.
- DOF, 2012, Diario Oficial de la Federación, Secretaria de gobernación (SEGOB), <http://dof.gob.mx/>.
- Done T.J., J.C. Ogden, W.J. Wiebe y B.R. Rosen. 1996. Biodiversity and ecosystem function of coral reefs. In: Mooney, H.A., Cushman, J.H., Medina, E., Sala, O.E., Schulze, E.-D. (Eds.), *Functional Roles of Biodiversity: A Global Perspective*. SCOPE 1996, John Wiley and Sons.
- Dustin W.K., A.O. Clinton, J.T. Daniel, A.N. Laura, W.S. Gregory y K.F. William. 2011. Catastrophic mortality on inshore coral reefs of the Florida Keys due to severe low-temperature stress.
- Fabricius K. E., 2005, *Effects of terrestrial runoff on the ecology of corals and coral reefs: review and synthesis*, Australian Institute of Marine Science and CRC Reef, PMB No. 3, Townsville MC, Qld 4810, Australia.
- Gardner T.A., Cote I.M., Gill J.A., Grant A., Watkinson A.R. 2003. Long-term region-wide declines in Caribbean corals. *Science* 301:958-960.
- Gardiner, J.S. 1931. *Coral reefs and atolls*. Macmillan and Co. Limited, London, 181 pp.
- Garzon-Ferreira J., M.C. Reyes-Nivia. 2001. Incidence of fish predation on stony corals at four atolls of the archipelago of San Andres and Providencia (Colombian Caribbean). *Bol Inv Mar Cost* 30:133–150.
- Garzón Ferreira J., S. Zea y J. M. Díaz. 2005. Incidence of partial mortality and other health indicators in hard-coral communities of four southwestern Caribbean atolls.
- Ginsburg N. R., E. Gischler, W. E. Kiene. 2001. Partial mortality of massive reef-building corals: an index of patch reef condition, Florida reef tract, *Bulletin of Marine Science*, 69(3): 1149–1173, Coral reef paper.

- Goodbody-Gringley G., Wetzel D.L., Gillon D., Pulster E., Miller A., Ritchie K.B. (2013) Toxicity of Deepwater Horizon Source Oil and the Chemical Dispersant, Corexit® 9500, to Coral Larvae. PLoS ONE 8(1): e45574. doi:10.1371/journal.pone.0045574.
- Goreau T.F. 1963. Calcium Carbonate Deposition by Coralline Algae and corals in relation to their roles as reef-builders. Annals of the New York Academy of Sciences, pages 127-167.
- Goreau T. F. y N.I. Goreau. 1973. The ecology of jamaican coral reefs. ii. Geomorphology, zonation, and sedimentary phases. Bulletin of Marine Science, Volume 23, Number 2, pp. 260-279(20).
- Graham J.A., R. Van Woesik. 2013. The effects of partial mortality on the fecundity of three common Caribbean corals, marine biology, DOI 10.1007/s00227-013-2248-y.
- Guzman M. H., J. Cortés. 1989. Growth rates of eight species of scleractinian corals in the eastern pacific (Costa Rica), Bulletin of Marine Science, 44 (3): 1186-1194, coral reef paper.
- Hoegh-Guldberg O., P. J. Mumby, A. J. Hooten, R. S. Steneck, P. Greenfield, E. Gomez, C. D. Harvell, P. F. Sale, A. J. Edwards, K. Caldeira, N. Knowlton, C. M. Eakin, R. Iglesias-Prieto, N. Muthiga, R. H. Bradbury, A. Dubi, M. E. Hatzitolos. (2007). Coral Reefs Under Rapid Climate Change and Ocean Acidification. Science 318, 1737; DOI: 10.1126/science.1152509.
- Horta-Puga G. 2003. Condition of selected reef sites in the Veracruz reef system (stony corals and algae), Pp. 360-369 in J.C. Lang (ed.), Status of Coral Reefs in the western Atlantic: Results of initial Surveys, Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment (AGRRA) Program. Atoll Research Bulletin 496.
- Horta-Puga G. 2007. Impactos ambientales. Coral reefs of the southern Gulf of México. Texas A&M University Press, College Station, p 183-236.

- Horta-Puga G. y J. D. Carriquiry. 2014. The Last Two Centuries of Lead Pollution in the Southern Gulf of Mexico Recorded in the Annual Bands of the Scleractinian Coral *Orbicella faveolata*, Bull Environ Contam Toxicol, DOI 10.1007/s00128-014-1222-9
- Horta-Puga G. y JP Carricart-Ganivet. 1993. Corales pétreos recientes (Milleporina, Stylasterina y Scleractinia) de México. Biodiversidad Marina y Costera de México., 64-78.
- Horta-Puga G. y J. L. Tello-Musi. 2009. Sistema Arrecifal Veracruzano: condición actual y programa permanente de monitoreo: Primera Etapa. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. DM005. México D. F.
- Hubbard D. K. 1986. Sedimentation as a control of reef development: St. Croix, U.S.V.I. Coral Reefs December 1986, Volume 5, Issue 3, pp 117-125, DOI:10.1007/BF00298179.
- Hughes T. P. 1984. Population Dynamics Based on Individual Size Rather than Age: A General Model with a Reef Coral Example. The American Naturalist. Vol. 123, No. 6, pp. 778-795.
- Hughes T. P., A. H. Baird, D. R. Bellwood, M. Card, S. R. Connolly, C. Folke, R. Grosberg, O. Hoegh-Guldberg, J. B. C. Jackson, J. Kleypas, J. M. Lough, P. Marshall, M. Nyström, S. R. Palumbi, J. M. Pandolfi, B. Rosen y J. Roughgarden. 2003. Climate Change, Human Impacts, and the Resilience of Coral Reefs, Science 301, 929; DOI: 10.1126/science.1085046.
- Hughes T. P. y J. B. C. Jackson. 1980. Do Corals Lie About Their Age? Some Demographic Consequences of Partial Mortality, Fission, and Fusion, Science 8 August 1980: Vol. 209 no. 4457 pp. 713-715, DOI: 10.1126/science.209.4457.713.

- Hughes T. P. y J. B. C. Jackson. 1985. Population Dynamics and Life Histories of Foliose Corals Author(s): Source: Ecological Monographs, Vol. 55, No. 2 (Jun., 1985), pp. 142-166 Published by: Ecological Society of America.
- Jokiel P. L. 2011. The reef coral two compartment proton flux model: A new approach relating tissue-level physiological processes to gross corallum morphology, Hawaii Institute of Marine Biology, University of Hawaii, P. O. Box 1346, Kaneohe, HI 96744, USA.
- Jones C.G., J.H. Lawton y Shachak M. 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69, 373–386.
- Jordán-Dahlgren E. 2004. Arrecifes coralinos del Golfo de México, Caracterización y Diagnóstico. *In*: Caso, Pisanty y Ezcurra (eds.) Diagnóstico Ambiental del Golfo de México. Ine-SEMARNAT, México. ISBN: 968-817-705-9.
- Jordán-Dahlgren E., M. A. Maldonado y R. E. Rodríguez-Martínez. 2005. Diseases and partial mortality in *Montastraea annularis* species complex in reefs with differing environmental conditions (NW Caribbean and Gulf of México), Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Apartado Postal 1152, 77500 Cancún, Quintana Roo, México.
- Kramer P. A. 2000. Synthesis of coral reef health indicators for the Western Atlantic: results of the AGRRA program (1997-2000). Pp.1-55 in J.C. Lang (ed.), Status of Coral Reefs in the western Atlantic: Results of initial Surveys, Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment (AGRRA) Program. Atoll Research Bulletin 496.
- Kramer P. A., P. R. Kramer y R. N. Ginsburg. 2003. Assessment of the Andros Island reef system, Bahamas (Part 1: Stony corals and algae). Atoll Research Bulletin, 496, 76-99.
- Lara M., C. Padilla, C. García y J. J. Espejel. 1992. Coral reef of Veracruz Mexico I. Zonation and community. In Proceedings of the 7th International Coral Reef Symposium (Vol. 1, pp. 535-544).

- Lewis J. B. 1997. Abundance, Distribution and Partial Mortality of the Massive Coral *Siderastrea siderea* on Degrading Coral Reefs at Barbados, West Indies Department of Biology, McGill University, 1205 Dr. Penfield Ave., Montreal, Quebec H3A 1B1, Canada.
- Lirman D. 2001. Competition between macroalgae and corals: effects of herbivore exclusion and increased algal biomass on coral survivorship and growth. *Coral Reefs* 19:392–399.
- Martínez S. y A. Acosta. 2005. Cambio temporal en la estructura de la comunidad coralina del área de Santa Marta - Parque Nacional Natural Tayrona (Caribe Colombiano). *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR* 34:161-191.
- Meesters E. H., I. Wesseling y R. P. M. Bak. 1996. Coral colony tissue damage in six species of reef-building corals: partial mortality in relation with depth and surface area. *Journal of Sea Research* 37 (1997) 131-144.
- Meesters E. H., I. Wesseling y R. P. M. Bak. 1996. Partial mortality in three species of reef-building corals and the relation with colony morphology. *Bulletin of Marine Science*. 58(3): 838-852.
- Miller J., E. Muller, C. Rogers, R. Waara, A. Atkinson, K.R.T. Whelan, M. Patterson y B. Witcher. 2009. Coral disease following massive bleaching in 2005 causes 60% decline in coral cover on reefs in the US Virgin Islands. *Coral Reefs* 28:925–937.
- Moberg F. y C. Folke. 1999. Ecological goods and services of coral reef ecosystems, *Ecological Economics*, 29 215–233, DOI: 10.1016/S0921-8009(99)00009-9 · Source: RePEc.
- Nugues M.M. y C.M. Roberts. 2003. Partial mortality in massive reef corals as an indicator of sediment stress on coral reefs, *Marine Pollution Bulletin*, Volume 46, Issue 3, Pages 314–323, DOI: 10.1016/S0025-326X(02)00402-2.

- Obura D. O. 2005. Resilience and climate change: lessons from coral reefs and bleaching in the Western Indian Ocean. Elsevier Ltd. All rights reserved. doi:10.1016/j.ecss.2004.11.010.
- Pandolfi J. M. , R. H. Bradbury, E. Sala, T.P. Hugues, K. A. Bjorndal, R.G. Cooke, D. McArdle, L. McClenachan, Newman, J.H. Marah, G. Paredes, R.R. Warner y J.B.C. Jackson. 2003. Global trajectories of the long-term decline of coral reef ecosystems. *Science* 301: 955–958.
- Peters E., 1984. A survey of cellular reactions to environmental stress and disease in Caribbean scleractinian corals. *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, 37, 113–137.
- Peterson C.H. y J. Lubchenco. 1997. On the value of marine ecosystems to society. In: Daily, G.C. (Ed.), *Nature's Services. Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, New York, pp. 177–194.
- Porto Hannes I., A. L. Zubillaga, T. L. Shearer, C. Bastidas, C. Salazar, M. A. Coffroth y A. M. Szmant. 2014. Population structure of the corals *Orbicella faveolata* and *Acropora palmata* in the Mesoamerican Barrier Reef System with comparisons over Caribbean basin-wide spatial scale
- Precht W. F. y M. Robbart. 2006. Coral Reef Restoration: The Rehabilitation of an Ecosystem under Siege. 1-25p. En: Precht W.F. (Ed). *Coral Reef Restoration Handbook*. CRC Prees 371p.
- Precht W.F., R.B. Aronson, R.M. Moody y L. Kaufman. 2010. Changing Patterns of Microhabitat Utilization by the Threespot Damselfish, *Stegastes planifrons*, on Caribbean Reefs. *PLoS ONE* (5): e10835. doi:10.1371/journal.pone.0010835.
- Quinn P.G. y M.J. Keough. 2002. *Experimental Design and Data Analysis for Biologists*. Cambridge, University Press. United Kingdom. 557p.

- Reaka-Kudla M. 1997. The global biodiversity of coral reefs: a comparison with rain forests. In: Biodiversity II: Understanding and Protecting our Natural Resources (eds M.L. Reaka-Kudla, D.E. Wilson and E.O. Wilson). Joseph Henry/National Academy Press, Washington, DC, pp. 83–108.
- Rosales-Hoz L., A. Carranza-Edwards y O. Celis-Hernandez. 2007. Environmental implications of heavy metals in surface sediments near Isla de Sacrificios, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 78:353-357.
- Sakai K. 1998. Gametogenesis, spawning and planula brooding by the reef coral *Goniastrea aspera* (Scleractinia) in Okinawa, Japan. *Mar Ecol Prog Ser* 151:67–72.
- Smith T.B., R.S. Nemeth, J. Blondeau, J.M. Calnan, E. Kadison y S. Herzlieb, 2008, Assessing coral reef health across onshore to offshore stress gradients in the US Virgin Islands Center for Marine and Environmental Studies, University of the Virgin Islands, #2 John Brewer's Bay, St. Thomas, USVI 00802-9990, USA.
- Smith T. B., J. Blondeau, R. S. Nemeth , S. J. Pittman, J. M. Calnan, E. Kadison y J. Gass. 2009. Benthic structure and cryptic mortality in a Caribbean mesophotic coral reef bank system, the Hind Bank Marine Conservation District, U.S. Virgin Islands, *Coral Reefs* (2010) 29:289–308 DOI 10.1007/s00338-009-0575-8.
- Soong K. 1993. Colony size as a species character in massive reef corals. *Coral reefs*, Springer, 12:77-83.
- Soong K. y Lang J.C. 1992. Reproductive integration in reef corals. *Biol Bull* 183:418–431.
- Szmant A.M. y N.J. Gassman. 1990. The effects of prolonged "bleaching" on the tissue biomass and reproduction of the reef coral *Montastrea annularis*. *Coral Reefs* (1990) 8:217-224.
- Van Woesik R., 1998, Lesion healing on massive *Porites* spp. Corals. *Mar Ecol Prog Ser* 164:213–220.

- Van Veghal M.L.J. y M.E.H. Kahmann. 1994. Reproductive characteristics of the polymorphic Caribbean reef building coral *Montastraea annularis*. II. Fecundity and colony structure. *Mar Ecol Prog Ser* 109:221–227.
- Veron, J. E. N. 1995. *Corals in Space and Time: The Biogeography and Evolution of the Scleractinia*. University of New South Wales Press, Sydney.
- Villanueva S., F. Páez-Osuna. 1996. Niveles de metales en el Golfo de México: agua, sedimentos and organismos. In: Botello AV, Rojas-Galaviz JL, Benítez JA, Zarate-Lomelí D (eds) *Contaminación e impacto ambiental: diagnostico and tendencias*. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX Serie Científica, Campeche, pp 309–347.
- Weil E., I. Urreiztieta, J. Garzón-Ferreira. 2002. Geographic variability in the incidence of coral and octocoral diseases in the wider Caribbean. *Proc 9th Int Coral Reef Symp Bali* 2:1231–1237.
- Wesseling I., J. U. Andre, P.M. Aliño and. Vermaat J. E. 2001. Partial Mortality in Porites Corals: Variation among Philippine Reefs, Department of Environmental Science and Water Resources, International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering, P.O. Box 3015, 2601 DA Delft, The Netherlands, Marine Science Institute, University of The Philippines, Diliman, Quezon City, Philippines.
- Winter E.K. y Y. Loya. 2000. Tissue regeneration in the coral *Fungia granulosa*: the effect of extrinsic and intrinsic factors. *Marine Biology* 137:867-873.
- Wilkinson C. 2008. *Status of Coral Reefs of the World: 2008*. Global Coral Reef Monitoring Network and Reef and Rainforest Research Centre: Townsville, Australia, pp 1–304.
- Work T.M., G. S. Aeby 2006. Systematically describing gross lesions in corals, *Dis. Aquat. Org.* 70, 155–160.