



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**
Facultad de Estudios Superiores Iztacala

**IMPACTO POTENCIAL DE LA AMPLIACIÓN DE LAS INSTALACIONES
PORTUARIAS EN LA CONDICIÓN ECOLÓGICA DEL ARRECIFE LA
GALLEGUILLA, VERACRUZ**

TESIS

Que para obtener el título de

BIÓLOGO

PRESENTA

Karen Mariana Acevedo Escobedo

Director

Dr. Guillermo J. Horta Puga



Los Reyes Iztacala Edo. de México, 2016.



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

A mi madre:

*Gracias por toda la fuerza, la perseverancia, la entrega y la constancia que haz
mostrado desde siempre, sin ti no hubiera sido capaz de cumplir mis metas y sueños.
Te amo y admiro.*

*El mar, el gran unificador, es la única esperanza del hombre. Ahora, más que nunca,
aquella vieja frase tiene un sentido literal: estamos todos en el mismo barco.*
Jacques Yves Cousteau

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer antes que nada a la Universidad Nacional Autónoma de México por darme las herramientas y conocimientos para mi desarrollo.

A mi asesor de tesis Dr. Guillermo J. Horta Puga, por su paciencia y dedicación. Su orientación, sus conocimientos y su persistencia han sido fundamentales para la terminación de esta tesis. Gracias por la confianza que deposito en mi y por todo lo recibido durante el periodo que duro esta investigación, siempre tendrá mi admiración y respeto.

A mis sinodales por su tiempo, sus conocimientos y sus aportaciones para siempre sacar lo mejor de mi, por los retos que me presentaron y por toda la experiencia que me brindaron. Gracias por siempre guiarme para tener un mejor desempeño.

A mi madre de mutuo acuerdo, gracias por siempre escuchar mis exposiciones, por preguntar aunque no entendías nada, por ayudarme a estudiar, por desvelarte conmigo, por todas las noches y los días, no tienes idea de cuanto agradezco a la vida tenerte.

A mi familia, por siempre estar ahí cuando los necesito, por todas las asesorías a cualquier hora, por sus cuidados y su cariño, gracias por siempre animar a la primera bióloga de la familia.

A Jesús, gracias por siempre escucharme, por todo el apoyo y los consejos, gracias por siempre ponerme los pies firmes en la tierra, por formar parte de mi vida y por todos los momentos que compartimos.

A mis amigos desde siempre, gracias por estar al pendiente de mi, por escuchar una y otra vez por que los arrecifes de coral son tan importantes, por dejarme sembrar en ustedes un poquito de la admiración que le tengo al mar.

A los miembros de la bodeguita arrecifal, (Alex, Jhoan, Jenni, Chava, Lazuli, Edwin, Noemi) que lejos de convertirse solo en mis compañeros se convirtieron en mis amigos, muchas gracias por todos los conocimientos, los consejos, la complicidad, las bromas, las risas, el apoyo y gracias sobre todo por su cariño. Gracias por siempre darme ánimos, y por creer en mi cuando mi frustración no me dejaba ver claro.

Finalmente quiero agradecer al Proyecto CONABIO GM005 por proporcionarme el apoyo necesario para la realización de este tesis.

ÍNDICE

RESUMEN.....	6
INTRODUCCIÓN	8
OBJETIVOS	13
<i>OBJETIVO GENERAL</i>	13
<i>OBJETIVOS PARTICULARES</i>	13
MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
<i>ÁREA DE ESTUDIO</i>	14
<i>ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD</i>	15
<i>ÍNDICES Y FÓRMULAS</i>	16
<i>IMPACTO POTENCIAL</i>	18
RESULTADOS	19
<i>DATOS ECOLÓGICOS</i>	19
<i>DATOS FISICOQUÍMICOS</i>	22
<i>RESPUESTA DE LOS CORALES HERMATÍPICOS A DIFERENTES FACTORES DE IMPACTO</i>	23
<i>RESISTENCIA POR ESPECIE</i>	26
DISCUSIÓN.....	29
<i>CONDICIÓN ECOLÓGICA</i>	29
<i>ESCENARIOS HIPOTÉTICOS DE IMPACTO POR LA AMPLIACIÓN DEL PUERTO DE VERACRUZ</i>	31
<i>IMPACTO EN LA ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD</i>	33

<i>HIDROCARBUROS</i>	33
<i>SÓLIDOS SUSPENDIDOS</i>	36
<i>TASAS DE SEDIMENTACIÓN</i>	38
<i>IMPACTO CON LOS PARÁMETROS HIDROCARBUROS, SÓLIDOS SUSPENDIDOS Y SEDIMENTACIÓN ACTUANDO AL MISMO TIEMPO</i>	40
<i>CONSIDERACIONES FINALES</i>	44
<i>CONCLUSIONES</i>	45
<i>LITERATURA CITADA</i>	47

RESUMEN

Las características de las zonas arrecifales y la gran cantidad de recursos que proveen han originado el asentamiento de comunidades humanas y la construcción de puertos importantes en sus cercanías, como es el caso del puerto de Veracruz. La ampliación del puerto de Veracruz en la zona norte puede afectar el desarrollo y mantenimiento de los arrecifes más cercanos, como es el caso de La Galleguilla. Los daños previsibles en este tipo de proyectos son la eliminación física directa o enterramiento de los corales y el estrés letal o subletal causado por una turbidez y sedimentación elevadas, además de contaminar el área en la que se está construyendo. En este trabajo se realizó una determinación de la estructura de la comunidad coralina y una estimación cualitativa de cómo cambiaría esta estructura, en términos de abundancia relativa, cobertura y densidad del arrecife. Para lo cual se desarrolló una estimación de riesgo mediante la evaluación de 3 escenarios hipotéticos de impacto que se proyectaron con valores previamente publicados de sólidos en suspensión, tasas de sedimentación y concentración de hidrocarburos, suponiendo que estos valores aumentarían simulando un impacto bajo, moderado y alto. El arrecife La Galleguilla presentó una riqueza específica de 11 especies, un índice de diversidad de Shannon-Weaver de 1.80 *bits/ind.*, una densidad promedio de 0.7 ± 0.3 ind./m y una cobertura de $12.4 \pm 2.5\%$, por lo que se le considera un arrecife impactado, que presenta baja diversidad, dominancia de especies resistentes, baja cobertura y densidad coralina. Considerando un cambio hipotético en las condiciones ambientales asociado a las obras de ampliación portuaria, se prevé un cambio importante en la estructura de la comunidad de corales hermatípicos, en la cual *Siderastrea siderea* se hace cada vez más dominante, así como una reducción en la riqueza específica, en la cobertura y en la densidad. Los cambios que se podrían manifestar en la comunidad coralina en cada uno de los escenarios por el efecto simultáneo de los tres factores de impacto son: (1) Impacto bajo: se mantienen *S. siderea*, *O. diffusa*, *S. intersepta*, *M. cavernosa*, *M. decactis*, *P. astreoides*, *C. natans*, *O. annularis* y *O. faveolata*, desaparecen *A. agaricites* y *A. fragilis*. La cobertura varía poco (de 12.42 % a 12.36%) así como la densidad (de 0.82 ind./m a 0.81 ind./m). (2) Impacto moderado: las especies probablemente presentarán respuestas conductuales anormales como por ejemplo movimiento tentácular deficiente y apertura bucal sin estímulo aparente y efectos subletales, permanecen *S. siderea*, *O. diffusa*, *S. intersepta*, *M. cavernosa*, *P. astreoides* y *O. annularis*. La cobertura disminuye de 12.42 % a

11.3% y la densidad de 0.82 ind./m a 0.75 ind./m. (3) Impacto alto: permanecen las especies más resistentes *S. siderea*, *O. diffusa* y *S. intersepta*. La cobertura disminuye de 12.42 % a 9.27 % y la densidad de 0.82 ind./m a 0.67 ind./m. Por el aumento previsible de estos factores de impacto, se asume que la ampliación del puerto de Veracruz en la Zona Norte, podría tener un impacto muy alto sobre el arrecife La Galleguilla, lo que lo afectará negativamente y potencialmente colapsará el ecosistema coralino.

INTRODUCCIÓN

Los arrecifes coralinos han sido utilizados por los humanos como zonas de recreación y como fuente de alimento y otros productos por miles de años (Hodgson, 1999; Chávez *et al.*, 2010). La necesidad del hombre por desarrollar zonas de embarcación y puertos lo ha llevado a buscar lugares que de manera natural estén protegidas, como son las ensenadas y bahías y, en este contexto, los arrecifes de coral son muy importantes, ya que funcionan como un rompeolas natural y crean áreas de baja turbulencia, protegiendo las costas de tormentas y erosión (Tunnell *et al.*, 2010). Los arrecifes de coral son ecosistemas marinos tropicales de gran diversidad de especies, que forman promontorios submarinos que sobresalen del fondo y llegan frecuentemente hasta la superficie oceánica (Carricart y Horta-Puga, 1993). Entre otros muchos factores, es por las características de los arrecifes, que hay puertos importantes construidos junto a ellos, como son el puerto de Singapur, el puerto de Naha en Japón, el puerto de Mackay en Australia y en el caso de México el puerto de Veracruz (WPS, 2015)

Las características de las zonas arrecifales y la gran cantidad de recursos que proveen han originado el asentamiento de comunidades humanas en sus cercanías, las cuales se benefician de éstos (Fitzpatrick y Donaldson, 2007, Ortiz-Lozano *et al.*, 2015). Un ejemplo de estos asentamientos es la ciudad de Veracruz, ya que la presencia del Sistema Arrecifal Veracruzano, un complejo formado por más de 25 arrecifes coralinos, ubicado en la plataforma occidental del Golfo de México y decretado Parque Nacional en 1992 (Granados *et al.*, 2007), proveyó, desde la época de la conquista, de una gran cantidad de material para construcción, una alta disponibilidad de alimento, así como de refugio para las embarcaciones y la protección contra ataques de piratas y debido a que es un área que de manera natural está protegida por los arrecifes de coral adyacentes, se eligió desarrollar bajo su resguardo el puerto industrial y mercante más grande del país (Ortiz-Lozano *et al.*, 2015; Blázquez *et al.*, 2011).

Durante tiempos de la colonia el puerto fungía como la vía de comunicación entre España y la Nueva España, con el tiempo se fue haciendo más importante y así a principios del siglo XX durante la presidencia de Porfirio Díaz, se construyen las actuales instalaciones portuarias (Figura 1a) (Domínguez, 1990). Para el año 2011, el arribo más frecuente de buques de grandes dimensiones al recinto portuario y la

limitante que no permite que descarguen dos buques simultáneamente, generó mayores índices de fondeo y severos impedimentos para cumplir con los incrementos sustanciales de carga que arriba. Por lo que, para cumplir con los nuevos requisitos y demandas de infraestructura y servicios, el Gobierno Federal por medio de la Administración Portuaria Integral de Veracruz S.A. de C.V. pone en marcha una expansión del Puerto de Veracruz en la Zona Norte (SCT, 2011). El proyecto de construcción consiste en un conjunto de obras contempladas en dos fases tendientes a ampliar la capacidad actual mediante la construcción de dos rompeolas con una longitud conjunta de protección de 7,740 m, además habrá un canal de acceso al puerto que tendrá que ser dragado para obtener la profundidad que se desea, dársena principal (*i.e.*, parte resguardada artificialmente) de 800 m de diámetro, nueve tipos de terminales de muelles, y 30 posiciones de atraque para embarcaciones, que sumado a las dársenas y el canal de acceso (Figura 1b), ocupará una superficie cercana a las 910 ha (Aleph, 2009). La construcción tendrá lugar en la Bahía de Vergara sobre un área de arrecife poco profundo conocido como Punta Gorda, que anteriormente estaba comprendido dentro de la declaratoria de área natural protegida, la modificación de la poligonal desincorporó una superficie total de 1,656 ha en su extremo noreste (Valadez-Rocha *et al.*, 2013). Es muy probable que esta construcción tenga un efecto directo e indirecto en los arrecifes La Gallega y La Galleguilla, que se ubican a menos de 1 km de distancia, del lugar destinado para la ampliación



Fig. 1a Actuales instalaciones portuarias de Veracruz. **b** Ampliación del puerto de Veracruz en la Zona Norte tomado de <http://aievac.org.mx/vernota.php?id=259>. Consultado 11/08/2015.

Los daños previsibles generales en el proceso de construcción de un puerto como lo señala la Asociación Mundial para la Infraestructura del Transporte Acuático, son la eliminación física directa o enterramiento de los corales cuando el arrecife se encuentra dentro de la zona de desarrollo, las actividades de dragado y colocación de material, pueden generar estrés letal o subletal a los corales causado por una turbidez y sedimentación elevadas, además de contaminar el área en la que se está construyendo y el posible vertido de hidrocarburos por algún derrame accidental (PIANC, 2010). Un antecedente de este impacto se puede ver en la construcción de las actuales instalaciones portuarias de Veracruz, que implicaron la construcción de la escollera sur, que parte del arrecife Hornos y termina sobre lo que era el arrecife La Lavandera, y la escollera norte sobre el arrecife de la Gallega. Además, se construyó un dique para unir al castillo de San Juan de Ulúa a tierra firme, bloqueando el Canal del Norte, que comunicaba con la Bahía de Vergara, la vía de entrada natural más comúnmente utilizada para arribar al puerto. Esta ampliación significó la afectación parcial del arrecife La Gallega y la destrucción de los arrecifes de La Caleta y La Lavandera. Además de modificar el sistema de circulación superficial local, lo que impidió el flujo natural de sedimentos hacia el sur y contribuyó a sepultar, literalmente, al arrecife Punta Gorda (Horta-Puga, 2010).

En el estudio de impacto ambiental de la obra de ampliación portuaria de Veracruz realizada por ARGO Consultores Ambientales S.A de C.V se nombran los impactos acumulativos del proyecto (APIVER, 2006). Las acciones identificadas con potencial para general impactos acumulativos son las de dragado y rellenos, la construcción de las escolleras y un incremento en el tránsito de embarcaciones dentro del lugar de construcción. Tanto la metodología de evaluación ambiental como el análisis de impactos acumulativos realizado, muestran que el proyecto de ampliación portuaria presenta el potencial de producir daños importantes sobre el medio. En el capítulo que refiere a la calidad del agua, se prevé un incremento en la cantidad de sólidos suspendidos por las actividades de dragado y relleno que se realizará durante la construcción. Se espera una variación de sedimentos de 0.005 mm a 20 mm de diámetro de partícula y se calcula una concentración mínima promedio de 19 mg/l. El dragado para los rompeolas poniente y oriente se estima en, aproximadamente 796 288 m³, (329 535 m³ y 476 253 m³, respectivamente). Por su parte el material que necesita ser

dragado en el canal de acceso y dársena en la primera etapa es de 18 107 558 m³ (APIVER, 2006). También se espera el derrames de líquidos, ya sean combustibles, aceites, y otro tipo de líquidos o sustancias hacia el cuerpo de agua superficial. Dado que en la primera etapa del proyecto se manipulará maquinaria, vehículos y artefactos navales para excavar, rellenar y mover sedimentos, también habrá generación de contaminantes por los aceites para lubricar la maquinaria y por el combustible para las mismas. Para el 2020 se tiene una estimación de residuo de aceites gastados de 618.78 (kg/día) y a corto plazo se tiene una proyección de generación de hidrocarburos provenientes de las embarcaciones de 37067.04 m³ (ANP, 2006). El área que recibirá los impactos ambientales directos producto de las actividades de ampliación del puerto, fue definida como área de influencia, por la manifestación de impacto ambiental presentada por la APIVER, dentro de esta área se encuentra el arrecife La Galleguilla (APIVER, 2006). Se asume que esta ampliación podría tener un efecto negativo sobre este arrecife de coral adyacente al proyecto, que es el mejor conservado en el área de influencia, ya que la sedimentación puede ser la causa principal de degradación de los arrecifes a escala global (Johannes, 1975; Kühlmann, 1988; Rogers, 1990; Storlazzi *et al.*, 2015; McCulloch *et al.*, 2003). Los efectos de la resuspensión de sedimentos en los arrecifes de coral como resultado de las actividades antropogénicas se han documentado en varios trabajos donde insisten en el efecto dañino de la sedimentación y el incremento de la turbidez en los sistemas arrecifales. Ambas perturbaciones se han relacionado con la disminución de densidad, diversidad y cobertura de coral, así como cambios en la estructura de la comunidad y por último cambios en la dominancia de especies que no son corales, tales como esponjas y algas (Roger, 1990; Nystrom *et al.*, 2000; Hughes *et al.*, 2003; Jokiel *et al.*, 2004; Fabricius, 2005). Los efectos generales que se presentan en los corales por un aumento en la sedimentación y la turbidez son la reducción de la capacidad fotosintética de las algas unicelulares endosimbiontes llamadas zooxantelas y, en consecuencia, la nutrición autótrofa del coral, pudiendo causar un blanqueamiento de corales considerable debido a la expulsión de las zooxantelas, formas de crecimiento irregulares, lesiones al tejido coralino, pérdida de pólipos y mortalidad parcial de las colonias y mortalidad de especies sensibles (Meesters *et al.*, 1992; Stafford-Smith, 1993; Riegl, 1995, Riegl y Branch, 1995; Fabricius, 2005; Gilmour *et al.*, 2006; Erfteimeijer *et al.*, 2012). En el caso de la contaminación crónica por hidrocarburos, algunos autores reportan efectos que incluyen mortalidad total o parcial de las colonias, alteraciones en el crecimiento,

comportamiento anormal, disminución de la capacidad fotosintética y deterioro de las funciones reproductivas, también se ha demostrado una alta toxicidad para las larvas de los coral escleractinios (Loya, 1975; Knap *et al.*, 1983; Wyers *et al.*, 1986; Harrison *et al.*, 1990; Lane y Harrison, 2000; Haapkylä *et al.*, 2007; Villanueva *et al.*, 2011; White y Strychar, 2011).

Si bien, la creación de puertos es una actividad económica estratégica en muchas naciones, igual de relevante es la cantidad de servicios ambientales que los sistemas arrecifales prestan a la humanidad. Numerosos tipos de métodos han sido desarrollados y usados en el proceso de evaluación del impacto ambiental de proyectos. Los métodos más usados, tienden a ser los más sencillos. Algunos de estos métodos son la revisión bibliográfica y la construcción de escenarios. La revisión bibliográfica supone ensamblar información sobre los tipos de proyectos y su impacto típico. Como se notará, por analogías, este tipo de información puede ser muy útil para la pronta definición de impactos potenciales. Actualmente está disponible una abundante información sobre impactos típicos de algunos proyectos. La construcción de escenarios involucra consideraciones alternativas futuras como resultado de suposiciones iniciales diferentes para poder estimar los riesgos potenciales que un determinado impacto podría tener sobre el ecosistema y los daños previsibles a los recursos naturales. Se necesita desarrollar una expectativa de riesgo del factor de impacto específicamente para cada recurso de interés, esto se logra mediante la evaluación de múltiples escenarios hipotéticos (Groot, 1979; McCay *et al.*, 2004).

Dado que se desconoce el impacto que las obras de ampliación portuaria podrían tener sobre el arrecife La Galleguilla, uno de los más cercanos al proyecto, la meta de este trabajo es realizar una modelización cualitativa, esto se refiere, a utilizar información descriptiva para relacionar varias acciones con cambios resultantes en los componentes ambientales. El enfoque general del modelaje cualitativo está en la comprensión de las interrelaciones fundamentales de los aumentos o disminuciones en ciertos rasgos ambientales como resultado de acciones particulares. Este método está típicamente basado en revisiones bibliográficas y opiniones de expertos. Se realizó una estimación cualitativa de como cambiaría la estructura de la comunidad en términos de abundancia relativa, cobertura y densidad, y la condición general de los corales hermatípicos de este arrecife si existiera un aumento en la cantidad de sólidos en suspensión, en la tasa de

sedimentación y la concentración de hidrocarburos en columna de agua, tomando en cuenta diferentes escenarios hipotéticos de impacto a partir de valores reales de estos parámetros obtenidos de los proyectos CONABIO GM005 y SNIB-CONABIO DM002. Para lo cual, primero se realizó un análisis de la comunidad y condición general de los corales hermatípicos del arrecife. Sobre la base de estos resultados, se realizó una escala de resistencia de las especies presentes y se hizo una exploración de como cambiaría la estructura de la comunidad coralina de La Galleguilla en términos de abundancia relativa (%), cobertura (%) y densidad (ind./m), suponiendo que los valores actuales aumentarán simulando un impacto bajo, moderado y alto. El rango de bajo, moderado y alto impacto se determinó con los rangos previamente publicados a los que aumentan los sólidos suspendidos y las tasas de sedimentación en actividades de dragado, construcción portuaria y arrecifes con un alto grado de impacto antropogénico. Es importante aclarar que en el caso de hidrocarburos no se tiene mucha información sobre rangos numéricos, existen datos cualitativos en campo de derrames de petróleo y experimentos en laboratorio con concentraciones específicas en volúmenes determinados de agua, por lo que se trato de aumentar hipotéticamente el valor actual de la mejor manera con la información recabada.

OBJETIVOS

Objetivo general:

Determinar el impacto potencial de las obras de ampliación del puerto de Veracruz en la comunidad coralina del arrecife La Galleguilla del Sistema Arrecifal Veracruzano.

Objetivos particulares:

1. Determinar la estructura de la comunidad de los corales hermatípicos en el arrecife posterior (Sotavento) a una profundidad de 9 a 12_m.
2. Analizar documentalmente, los efectos del aumento en columna de agua de sólidos suspendidos y tasas de sedimentación en los corales hermatípicos.
3. Analizar documentalmente, los efectos del aumento en columna de agua de la concentración de hidrocarburos en los corales hermatípicos.
4. Realizar una estimación cualitativa de cómo afectarían las obras de construcción portuarias la estructura de la comunidad coralina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El arrecife La Galleguilla se encuentra cerca de la descarga de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Veracruz y de sus instalaciones portuarias, a 2 km de la costa en las coordenadas 19°14'01.4" N y 96°07'32.0" W. Este arrecife es de tipo plataforma, lo que significa que presentan la parte superior plana y alargada, debido a la acción conjunta de vientos y corrientes locales predominantes, mide 1.0 km en su eje más largo (NW-SE) con 0.4 km de ancho y no presenta porción emergida (Horta-Puga y Tello-Musi, 2009; Carricart-Ganivet y Horta-Puga, 1993).



Figura 2. Vista aérea del arrecife La Galleguilla, la marca roja señala las coordenadas del sitio de muestreo en el sotavento del arrecife. Imagen tomada de http://www.google.es/intl/es_es/earth/explore/products/; consultado el 4/01/2016.

Estructura de la comunidad

Se realizaron dos muestreos pertenecientes a las campañas C-10 y C-11 del proyecto CONABIO GM005, el primero fue el 20 de octubre del 2014 y el segundo el 17 de marzo del 2015, la estación de trabajo se ubicó en el arrecife posterior (talud de sotavento), porque es el punto más cercano al proyecto de ampliación, a una profundidad de 9 a 12 m, profundidad con mayor diversidad y cobertura coralina en el SAV (Horta-Puga, 2003).

Para determinar la estructura de la comunidad de corales hermatípicos, se usó el método del transecto (AGRRA, 2000; Horta-Puga, 2003; Álvarez-Filip *et al.*, 2011) que es utilizado ampliamente para el muestreo de comunidades coralinas y ha sido exitosamente aplicado en el SAV. Con ayuda de un flexómetro de plástico y un tensor se colocaron transectos de 10 m de longitud a una profundidad entre los 9-12 m. Se usó un tubo de PVC de 1 m marcado cada 5 cm y hojas previamente diseñadas para facilitar el registro de los siguientes datos a cada individuo/colonia que cayó bajo el transecto en vista superior:

1. Especie: nombre siguiendo una notación preestablecida
2. Longitud de intercepción: distancia, en cm, bajo la línea del transecto
3. Talla (cm): en cada colonia se le determinó el diámetro máximo en vista superior, el diámetro perpendicular (con respecto al diámetro máximo) y la altura.

Se utilizaron un total para ambas campañas de 43 transectos, teniendo 23 para la C-10 y 18 para la C-11. En total se muestrearon 332 colonias coralinas, 164 en el primer muestreo y 168 en el segundo, ya que 100 es el número mínimo considerado representativo para estudios de comunidades coralinas. Con los datos obtenidos en campo se construyó una base de datos, en la que se cuantificaron los atributos mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros cuantificados del arrecife La Galleguilla

Parámetro	Forma de evaluación
Riqueza específica	No. total de especies de corales hermatípicos presentes.
Cobertura	Por ciento de la longitud total de los transectos interceptada por corales.
Densidad	No. de individuos por unidad de longitud.
Abundancia relativa	Relación expresada como porcentaje entre el número de individuos de una misma especie entre el total de individuos.
Diversidad	Índice de Shannon-Weaver (H') (contenido de información de la muestra) <i>bits/ind.</i>
Equitatividad	Índice de equitatividad de Pielou (J).
Talla	Tamaño estimado de cada individuo con respecto a su altura, diámetro máximo y diámetro perpendicular.

Índices y fórmulas

- Diversidad ecológica

Uno de los parámetros más utilizados para determinar la estructura de una comunidad biológica es la diversidad ecológica. Aunque existen varios índices de diversidad, el más utilizado es el índice de diversidad de Shannon-Weaver (H'). El valor de H' será alto, si la probabilidad de predicción de la especie a la que pertenece un individuo, elegido al azar entre todos los miembros de la comunidad, es baja. El valor de H' se calcula mediante la siguiente fórmula (Rocha *et al.*, 2012):

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

Donde:

H' =Diversidad de Shannon-Weaver (contenido de información de la muestra) *bits/individuo.*

P_i =proporción de la especie i en la muestra= n_i/N

S = número de especies en la muestra

Asimismo, para efectos comparativos se puede calcular la diversidad máxima (H'_{\max}), en el hipotético caso de que la abundancia de todas las especies presentes en la comunidad fuera exactamente la misma. El valor de H'_{\max} se calcula mediante la siguiente fórmula (Rocha *et al.*, 2012):

$$H'_{\max} = \log_2 S$$

El índice de equitatividad de Pielou (J'), se utiliza para determinar (en una escala de 0-1) que tan equilibradas están las proporciones (abundancias) de las especies que componen la comunidad. A valores más altos la comunidad presenta abundancias similares entre las especies, y por tanto, no existen especies que se puedan considerar dominantes en términos numéricos. El valor de J' se calcula por la siguiente fórmula (Rocha *et al.*, 2012):

$$J' = \frac{H'}{H'_{\max}}$$

- Talla de corales hermatípicos

Los corales escleractinios tienen una capacidad ininterrumpida de crecimiento, lo que significa que el tamaño o talla de una colonia se incrementa continuamente a un ritmo aproximado de 2 mm/año en las especies hermatípicas. Se consideró el diámetro promedio de una colonia como el estimador más confiable de la talla y ésta se calculó según la siguiente fórmula (Horta-Puga y Tello-Musi, 2009):

$$\text{Talla} = \frac{[\text{Diámetro Máximo} + \text{Diámetro perpendicular} + (\text{Altura} * 2)]}{3}$$

Impacto potencial

Una vez conocida la estructura de la comunidad coralina de La Galleguilla, el siguiente paso fue saber cuáles son los efectos generales que tienen la sedimentación, la turbidez y los hidrocarburos sobre los corales hermatípicos y los arrecifes de coral. Se sabe bien que estos no son los únicos factores involucrados en una construcción portuaria, pero se utilizan en este trabajo por ser los que más comúnmente se han reportado en este tipo de procedimientos y por ser los impactos potenciales reportados en el estudio de impacto ambiental de la ampliación portuaria de Veracruz (Gilmour *et al.*, 2006; PIANC, 2010, APIVER, 2006). Para lo que se realizó una investigación intensiva en buscadores especializados como ScienceDirect y Springer de publicaciones que reporten las respuestas coralinas a estos factores desde 1977 hasta 2016. A continuación, se realizó una segunda búsqueda de publicaciones sobre los umbrales de resistencia que presentan las especies encontradas en el arrecife. Todo esto para poder establecer una escala por especie y así conocer cuáles son las más resistentes y las más susceptibles. Aunado a esto, se realizaron escenarios hipotéticos de impacto con los valores obtenidos del proyecto CONABIO GM005 para sólidos suspendidos, grasas y aceites, así como las tasas de sedimentación reportadas para el SAV tomadas del proyecto CONABIO DM002. Estos valores iniciales se utilizaron como línea base y se aumentaron para que de manera general se simulara un escenario hipotético de impacto bajo, moderado y alto. La cantidad de aumento que se proyectó para cada uno de los escenarios se determinó con los valores reportados en literatura a los que las especies empiezan a presentar estrés letal y subletal. Además de los valores reportados en construcciones portuarias y actividades de dragado cerca de los arrecifes de coral. De manera que no siempre se aumentó el mismo porcentaje para los tres parámetros de impacto. Es importante señalar que en algunos casos no se contó con la información necesaria por la falta de trabajos que investiguen la resistencia específica de los corales al estrés antropogénico, por lo que se formuló una propuesta con toda la información recabada que unifico de la mejor manera posible la proyección de los escenarios. Una vez realizados ambos, la escala y los escenarios hipotéticos, se realizó una propuesta de cómo cambiaría la estructura de la comunidad coralina cambiando las proporciones de abundancia relativa de las especies, partiendo de un 100% de supervivencia de las especies que permanecen y un 100% de mortalidad de las especies que desaparecen.

RESULTADOS

Datos ecológicos

Durante los 2 muestreos realizados se observaron un total de 11 especies de corales hermatípicos, 9 especies para la Campaña C-10, y 10 para la Campaña C-11 (Tabla 2). En el primer muestreo no se encontraron las especies *Agaricia agaricites* ni *Orbicella annularis*, y en el segundo muestreo no se encontró la especie *A. fragilis*. La diferencia se debe a que en el método de muestreo se utilizan transectos aleatorios por lo que no siempre se encuentran las mismas especies, es por eso que se usó el promedio de ambas campañas para el análisis de los datos. En la Tabla 2 y la Figura 3 se muestra la riqueza específica y la abundancia relativa por campaña y promedio. En general *Siderastrea siderea* tiene la mayor abundancia relativa ($67.8 \pm 0.1\%$), seguida de *Oculina diffusa* ($7.3 \pm 2.7\%$) y *Stephanocoenia intersepta* ($6.7 \pm 3.5\%$).

Tabla 2. Abundancia relativa (%) por especie del total de individuos (*n*) en cada campaña de muestreo (C-10 y C-11) y el promedio (\pm desviación estándar) de ambas campañas.

Especie	C-10	C-11	Promedio anual (%)
<i>Siderastrea siderea</i>	67.7	67.9	67.8 \pm 0.1
<i>Oculina diffusa</i>	9.1	5.4	7.3 \pm 2.7
<i>Stephanocoenia intersepta</i>	9.1	4.2	6.7 \pm 3.5
<i>Montastraea cavernosa</i>	3.7	8.3	6.0 \pm 3.3
<i>Madracis decactis</i>	4.3	3.0	3.6 \pm 0.9
<i>Porites astreoides</i>	1.8	4.8	3.3 \pm 2.1
<i>Orbicella faveolata</i>	1.8	2.4	2.1 \pm 0.4
<i>Colpophyllia natans</i>	1.2	1.8	1.5 \pm 0.4
<i>Agaricia agaricites</i>	-	1.8	0.9 \pm 1.3
<i>Agaricia fragilis</i>	1.2	-	0.6 \pm 0.9
<i>Orbicella annularis</i>	-	0.6	0.3 \pm 0.4
<i>n</i>	164	168	332

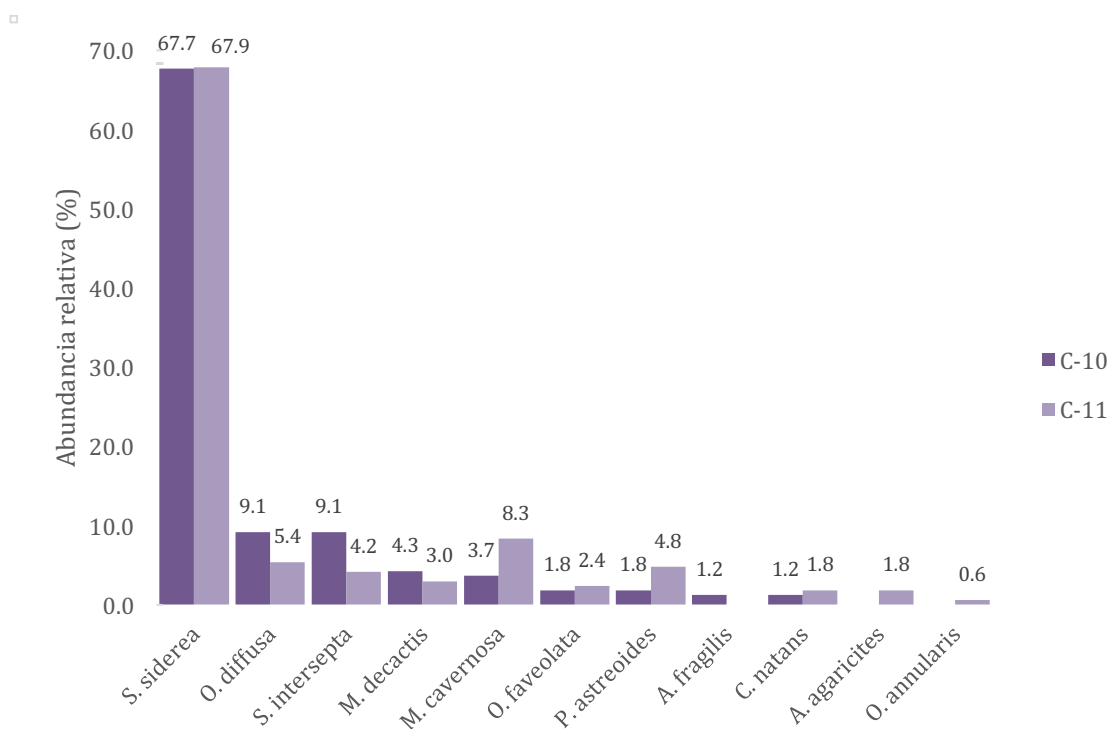


Figura 3. Abundancia relativa de corales hermatípicos en la zona de sotavento del arrecife La Galleguilla.

El valor del índice de diversidad de Shannon-Weaver (H'), para la campaña C-10 fue de $H'=1.75 \text{ bits/ind.}$, con una diversidad máxima (H'_{\max}) de 3.17. Por lo que se refiere a la equitatividad (índice de Pielou), el valor fue de $J'=0.55$. Para la campaña C-11 se presentó una diversidad coralina de $H'=1.84 \text{ bits/ind.}$, una H'_{\max} de 3.32 y una equitatividad de $J'=0.55$.

Por lo que respecta al parámetro de densidad para la campaña C-10 se obtuvo un promedio de los transectos muestreados (\pm desviación estándar) de 0.7 ± 0.3 ind./m y para la Campaña C-11 de 0.9 ± 0.3 ind./m, teniendo como promedio general para ambas campañas 0.8 ± 0.2 ind./m. En el caso de cobertura para la campaña C-10 se obtuvo un total de $9.2\pm 4.8\%$ y para la Campaña C-11 de $15.7\pm 8.9\%$, con un promedio general para ambas campañas de $12.4\pm 2.5\%$. En Tabla 4 se puede observar cobertura y densidad por especie, claramente *S. siderea* presenta la cobertura más alta ($8.40\pm 3.05\%$), seguida por *M. cavernosa* ($1.57\pm 0.77\%$) y *S. intersepta* (0.57 ± 0.09), en el caso de la densidad *S. siderea* también presenta el valor más alto (0.56 ± 0.11 ind./m) seguida de *O. diffusa* (0.06 ± 0.01 ind./m) y *S. intersepta* (0.05 ± 0.02 ind./m) y *M. cavernosa* (0.05 ± 0.04) con valores similares. Es importante señalar que la metodología que se siguió en este trabajo no está diseñada para que los valores de cobertura y densidad por especie sean significativos. Esto se debe a que sólo se muestrea un mínimo de 100 colonias coralinas, lo cual no es suficiente para determinar estos parámetros para cada especie en el arrecife. Estos datos sólo se utilizaron como base para el análisis de cambio en la estructura de la comunidad.

Tabla 4. Parámetros ecológicos de cobertura y densidad en cada campaña de muestreo (C-10 y C-11) y el promedio (\pm desviación estándar) de ambas campañas.

Especie	Cobertura %		Densidad ind./m		Promedio anual	
	C-10	C-11	C-10	C-11	Cobertura %	Densidad ind./m
<i>Agaricia agaricites</i>	-	0.06	-	0.02	0.03 ± 0.04	0.01 ± 0.01
<i>Agaricia fragilis</i>	0.07	0	0.01	0.00	0.03 ± 0.05	0.00 ± 0.01
<i>Colpophyllia natans</i>	0.57	0.47	0.01	0.02	0.52 ± 0.07	0.01 ± 0.01
<i>Madracis decactis</i>	0.23	0.22	0.03	0.03	0.23 ± 0.01	0.03 ± 0.00
<i>Montastraea cavernosa</i>	1.02	2.11	0.03	0.08	1.57 ± 0.77	0.05 ± 0.04
<i>Oculina diffusa</i>	0.33	0.26	0.07	0.05	0.29 ± 0.05	0.06 ± 0.01
<i>Orbicella annularis</i>	-	0.01	-	0.01	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
<i>Orbicella faveolata</i>	0.09	0.56	0.01	0.02	0.32 ± 0.33	0.02 ± 0.01
<i>Porites astreoides</i>	0.11	0.81	0.01	0.04	0.46 ± 0.50	0.03 ± 0.02
<i>Siderastrea siderea</i>	6.25	10.56	0.48	0.63	8.40 ± 3.05	0.56 ± 0.11
<i>Stephanocoenia intersepta</i>	0.51	0.64	0.07	0.04	0.57 ± 0.09	0.05 ± 0.02
Total	9.2 ± 4.8	15.7 ± 8.9	0.7 ± 0.3	0.9 ± 0.3	12.4 ± 2.5	0.8 ± 0.2

Datos fisicoquímicos

En la Tabla 5 se muestran los datos fisicoquímicos recabados en 13 arrecifes del SAV (Anegada de Afuera, Cabezo, Rizo, Isla de En medio, Chopas, La Blanca, Isla Sacrificios, Pájaros, Isla Verde, Anegada de Adentro, Punta Gorda, La Galleguilla y Hornos) del Proyecto CONABIO GM005 por Horta-Puga y colaboradores (2015a). Para las Campañas C-10 y C-11, la concentración promedio en una temporada (H-11 y H-12) de hidrocarburos medidos como grasas y aceites fue de 6.2 ± 3.8 mg/l, y la concentración por temporada (H-11 y H12) promedio de sólidos suspendidos de 8.7 ± 7.8 mg/l para todo el SAV. En la Tabla 6 se muestran las tasas de sedimentación reportadas del Proyecto SNIB-CONABIO DM002 por Pérez España y Vargas Hernández (2008), en este trabajo se midió la tasa de sedimentación en 7 arrecifes diferentes (Anegada de Adentro, Blanca, Isla de Enmedio, Pájaros, Isla Sacrificios, Santiaguillo e Isla Verde) con lo que se pudo sacar un promedio de tasa de sedimentación de 21.6 ± 18.4 mg/cm²/día para el SAV.

Tabla 5. Datos fisicoquímicos de sólidos suspendidos (SS) y grasas y aceites (GyA) del Sistema Arrecifal Veracruzano en cada campaña de hidrológico (H-11 y H12) y el promedio por temporada tomado del Proyecto CONABIO GM005.

Arrecife	H-11		H-12		Promedio general	
	SS	GyA	SS	GyA	SS	GyA
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Anegada de Afuera	3.5	0.4	36.1	1	19.8±23.1	0.7±0.4
Cabezo	3.7	5.7	7.7	3.1	5.7±2.8	4.4±1.8
Rizo	2.5	2.7	11.3	5.5	6.9±6.2	4.1±2.0
Isla de En medio	2.7	2	18.2	1.1	10.5±11.0	1.6±0.6
Chopas	1.9	2.1	33.1	3.1	17.5±22.1	2.6±0.7
La Blanca	3.9	1.6	5.3	0.6	4.6±1.0	1.1±0.7
Isla Sacrificios	2.9	2.6	3.2	2.2	3.1±0.2	2.4±0.3
Pájaros	3.2	2.5	4.5	2	3.9±0.9	2.3±0.4
Isla Verde	2.6	20	10.5	84.5	6.6±5.6	52.3±45.6
Anegada de Adentro	3.4	1.4	19.5	0.2	11.5±11.4	0.8±0.8
Punta Gorda	4.1	1.4	9.6	1.3	6.9±3.9	1.4±0.1
La Galleguilla	3.9	0.8	6.6	7.7	5.3±1.9	4.3±4.9
Hornos	2.6	2.2	19.4	3.8	11±11.9	3±1.1
SAV	3.1±0.7	3.5±5.1	14.2±10.6	8.9±22.8	8.7±7.8	6.2±3.8

Nota: Parte de los datos fueron publicados en Carriquiry y Horta-Puga 2010, el resto se publicó en Horta-Puga *et al.*, 2015a.

Tabla 6. Tasas de sedimentación registradas del Sistema Arrecifal Veracruzano por Pérez España y Vargas Hernández (2008).

Arrecife	mg/cm ² /día
Anegada de Adentro	33.3±65.3
Blanca	13.9±21.0
Isla de Enmedio	10.7±9.4
Pájaros	16.2±20.9
Isla Sacrificios	57.7±66.1
Santiaguillo	2.9±3.1
Isla Verde	16.9±21.9
SAV	21.7±18.4

Respuesta de los corales hermatípicos a diferentes factores de impacto

A continuación se muestra un recopilación de trabajos en donde se ve la respuesta cualitativa a diferentes tipos de estrés de algunas especie presentes en el arrecife, esta información complementa los datos faltantes de valores críticos de resistencia coralina, ya que no existen muchos trabajos en los que experimentalmente se hayan probado valores de hidrocarburos, sólidos suspendidos y tasas de sedimentación y sus respuestas en los corales. En la Tabla 7 se puede observar cómo se presentan efectos subletales en *S. siderea* después de años de ocurrido un derrame de petróleo, en el caso de *O. annularis* también se pueden ver efectos subletales, como es la disminución de la cobertura coralina, también por un derrame de petróleo. También, se observan efectos subletales como respuesta a cantidades elevadas de sólidos suspendidos (p. ej., disminución de la tasa de calcificación y blanqueamiento parcial) aunque existen especies como *M. cavernosa* que no se ven afectados como se puede ver en la Tabla 8. Para el caso de altas tasas de sedimentación en la Tabla 9 se puede observar que hay mayores publicaciones que tratan este tema, en donde se especifica el tamaño de sedimento que los corales son capaces de remover, como la morfología de la colonia influye en la remoción y depositación de sedimento y que tan abundantes son las especies en ambientes con altas tasas de sedimentación.

Tabla 7. Respuesta de *O. annularis* y *S. siderea* a ambientes relacionados con contaminación por hidrocarburos.

Especie	Respuesta	Referencia/Sitio
<i>O. annularis</i>	Disminución de cobertura coralina, después de Gran derrame de Petróleo en Panamá.	Guzmán <i>et al.</i> , 1991: Panamá
<i>S. siderea</i>	Años después del derrame de Petróleo en Panamá, se presentaron efectos subletales.	Guzmán y Holst, 1993: Panamá

Tabla 8. Respuesta de algunas especie de coral relacionada a cantidades elevadas de sólidos suspendidos en columna de agua.

Especie	Respuesta	Referencia/Sitio
<i>A. agaricites</i>	Menos de 1% de irradiancia superficial por varios días, debido a una operación de dragado, se observó una disminución en la tasa de calcificación (33%), pero sobrevivió.	Bak, 1978: Curazao
	Después de 5 semanas de reducción severa de luz presentó blanqueamiento parcial con recuperación.	Rogers, 1979: Puerto Rico
<i>M. decactis</i>	Menos de 1% de irradiancia superficial por varios días, debido a una operación de dragado, hubo una disminución de la tasa de calcificación (33%), pero sobrevivió.	Bak, 1978: Curazao
<i>O. diffusa</i>	Resistencia a una alta turbidez.	Bull y Kendall, 1994
<i>M. cavernosa</i>	No se vio afectado por el sombreado que ocasionó una reducción severa de luz durante 5 semanas.	Rogers, 1979: Puerto Rico
<i>C. natans</i>	Después de 5 semanas de reducción severa de luz presentó blanqueamiento parcial con recuperación limitada.	Rogers, 1979: Puerto Rico
<i>O. annularis</i>	Blanqueamiento sustancial después de 5 semanas de reducción severa de luz hubo una recuperación parcial (6-8 semanas).	Rogers, 1979: Puerto Rico
<i>S. siderea</i>	Blanqueamiento parcial después de 5 semanas de reducción severa de luz (sombreado).	Rogers, 1979: Puerto Rico

Tabla 9. Respuesta de algunas especie de coral relacionada a ambientes con sedimentación elevadas.

Especie	Respuesta	Referencia/Sitio
<i>A. agaricites</i>	Eficaz removedor de sedimento (tamaño de partículas de 125 a 62 μm).	Abdel-Salam y Porter, 1988: Puerto Rico
<i>A. fragilis</i>	Especie altamente resistente a la sedimentación y dominantes en ambientes con estrés sedimentario.	Torres, 1998: Puerto Rico; Loya, 1976: Mar Rojo
<i>A. sp.</i>	Alta tolerancia a la sedimentación.	Bull y Kendall, 1994
	Puede prosperar en las plataformas de sedimentos que rodean a los arrecifes.	Flood <i>et al.</i> , 2005
<i>O. diffusa</i>	Los corales ramificados pueden estar mejor adaptados para manejar el aumento de la sedimentación, las colonias con esta morfología son mejores para remover el sedimento.	Abdel-Salam y Porter, 1988: Puerto Rico; Rice y Hunter, 1992: Florida
	Después de una actividad de dragado la comunidad coralina fue reemplazada por la dominancia de corales ramificados pequeños.	Dryer y Logan, 1978
	Exitosos en la remoción de sedimento (tamaño de partículas de 125 a 62 μm).	Abdel-Salam y Porter, 1988: Puerto Rico
	Zooxantelado facultativo.	Cairns, 2000
<i>P. astreoides</i>	Abundante en áreas de sedimentación masiva, especie altamente resistente a las sedimentación.	Cortés y Risk, 1985: Costa Rica; Torres y Morelock, 2002: Puerto Rico
	Especie sensible al aumento en las tasas de sedimentación.	Bak 1987 : Aruba
<i>C. natans</i>	Exitosos en la remoción de sedimento (tamaño de partículas 2,000 μm).	Abdel-Salam y Porter, 1988: Puerto Rico
<i>O. annularis</i>	Corales hemisféricos con un radio pequeño, tienen mayor probabilidad de eliminar sedimento.	Abdel-Salam y Porter, 1988: Puerto Rico
	Alta sensibilidad a la sedimentación.	Torres, 1998: Puerto Rico
<i>M. cavernosa</i>	Abundante en áreas de sedimentación masiva.	Torres, 1998: Puerto Rico; Lasker, 1980: Panamá
	Especies con pólipos grandes son mejores para remover sedimento.	Rice y Hunter, 1992: Florida
<i>S. siderea</i>	Especie altamente resistente a la sedimentación.	Torres, 1998: Puerto Rico
	Buena removedora de sedimento.	Hubbard y Pocock, 1972

Resistencia por especie

En la Tabla 10 se muestra la resistencia a la exposición de hidrocarburos siendo *O. annularis* y *S. siderea* las más resistentes pudiendo soportar contaminación crónica por hidrocarburos y 4 ml de aceite. Para el caso de sólidos suspendidos en la Tabla 11 se puede observar que *P. astreoides* es capaz de soportar hasta 1000 mg/l siendo la más resistente al contrario de especies como *A. agaricites* y *S. intersepta* que solo pueden aguantar un máximo de 200 mg/l, en realidad esta cantidad no es baja comparada con la cantidad de sólidos suspendidos que se encuentra en el SAV (8.7 ± 7.8 mg/l). Y por último para las tasas de sedimentación *M. cavernosa* puede soportar hasta 1000 mg/cm²/día siendo de las más resistentes, especies con tamaños de colonia pequeños como *A. agaricites* soportan solamente 10 mg/cm²/día como se puede ver en la Tabla 12. Con la información recabada de los valores críticos que tiene cada especie del arrecife, se realizó una escala (Tabla 13) con los tres niveles de impacto seleccionados. Esta escala clasifica las especies en resistencia baja (RB), resistencia moderada (RM) y resistencia elevada (RE). Las especies responden de manera distinta a los diferentes factores de estrés a los que son expuestas, por lo que por ejemplo *M. decactis* presenta una resistencia baja a los hidrocarburos presentes en columna de agua, pero tiene una resistencia moderada a sólidos suspendidos. Esta escala se realizó con el fin de homogeneizar la información recopilada.

Tabla 10. Resistencia específica reportada a la exposición de una mezcla de 4 g de arena + 3 cm³ de aceite (AS), a 1-4 ml de diesel marino o aceite Bunker C en 50 ml y 250 ml (CA), y a la contaminación crónica por hidrocarburos causada por una refinería (CC), la presencia de la especie se representa con •.

Especie	AS	CA	CC	Referencia/Sitio
<i>Agaricia agaricites</i>	•			
<i>Colpophyllia natans</i>	•			Bak y Elgershuizen, 1976: Curazao.
<i>Madracis decactis</i>	•			
<i>Montastraea cavernosa</i>	•			
<i>Orbicella annularis</i>	•	•	•	Bak y Elgershuizen, 1976: Curazao; Reimer, 1975: Panamá; Bak, 1987: Aruba.
<i>Porites astreoides</i>	•	•		Bak y Elgershuizen, 1976: Curazao; Reimer, 1975: Panama.
<i>Siderastrea siderea</i>	•	•	•	Bak y Elgershuizen, 1976: Curazao; Reimer, 1975: Panamá; Bak, 1987: Aruba.

Tabla 11. Resistencia máxima específica reportada a diferentes niveles de sólidos suspendidos (SS), la presencia de la especie se representa con •.

Especie	SS (mg/l)				Referencia/Sitio
	50	200	500	1000	
<i>Agaricia agaricites</i>	•	•			Thompson, 1980: Golfo de México.
<i>Orbicella annularis</i>	•	•	•		Thompson, 1980: Golfo de México; Thompson y Bright, 1980: Golfo de México; Dallmeyer <i>et al.</i> , 1982: Jamaica.
<i>Porites astreoides</i>	•	•	•	•	Thompson, 1980: Golfo de México; Thompson y Bright, 1980: Golfo de México.
<i>Stephanocoenia intersepta</i>	•	•			Rice y Hunter, 1992: Florida; Rice, 1984: Golfo de México.

Tabla 12. Resistencia máxima específica reportada a diferentes tasas de sedimentación (TS), la presencia de la especie se representa con •.

Especies	TS (mg/cm ² /día)				Referencia/Sitio
	10	100	800	1000	
<i>Agaricia agaricites</i>	•				Bak y Elgershuizen, 1976: Curazao.
<i>Montastraea cavernosa</i>	•		•	•	Loya, 1976: Mar Rojo; Lasker, 1980: Panama.
<i>Orbicella annularis</i>	•	•			Bak y Elgershuizen, 1976: Curazao; Abdel-Salam y Porter, 1988: Puerto Rico; Rogers, 1979: Puerto Rico; Torres, 1998: Puerto Rico; Rogers, 1990, Rogers, 1977: Puerto Rico; Torres y Morelock, 2002: Puerto Rico; Dodge <i>et al.</i> , 1974: Jamaica; Nugues y Roberts, 2003: Las Antillas.
<i>Porites astreoides</i>	•	•			Bak y Elgershuizen, 1976: Curazao; Torres y Morelock, 2002: Puerto Rico.
<i>Siderastrea siderea</i>	•				Torres y Morelock, 2002: Puerto Rico; Nugues y Roberts, 2003: Las Antillas.

Tabla 13. Escala que reúne toda la información recopilada sobre la resistencia específica a la tasa de sedimentación (TS), sólidos suspendidos (SS) y grasas y aceites (GyA). Teniendo especies con resistencia baja (RB), moderada (RM) y elevada (RE).

Resistencia	Factor de impacto		
	TS	SS	GyA
RB	<i>Agaricia fragilis</i>	<i>Colpophyllia natans</i>	<i>Colpophyllia natans</i>
	<i>Madracis decactis</i>		
	<i>Orbicella faveolata</i>	<i>Siderastrea siderea</i>	<i>Madracis decactis</i> <i>Montastraea cavernosa</i>
RM	<i>Agaricia agaricites</i>	<i>Agaricia agaricites</i>	
	<i>Colpophyllia natans</i>	<i>Agaricia fragilis</i>	
	<i>Orbicella annularis</i>	<i>Madracis decactis</i>	<i>Porites astreoides</i>
	<i>Porites astreoides</i>	<i>Montastraea cavernosa</i>	<i>Agaricia agaricites</i>
	<i>Siderastrea siderea</i>	<i>Stephanocoenia intersepta</i>	
	<i>Stephanocoenia intersepta</i>	<i>Stephanocoenia intersepta</i>	
RE	<i>Montastraea cavernosa</i>	<i>Oculina diffusa</i>	<i>Orbicella annularis</i>
		<i>Porites astreoides</i>	
	<i>Oculina diffusa</i>	<i>Orbicella annularis</i>	<i>Siderastrea siderea</i>

DISCUSIÓN

Condición ecológica

Los parámetros ecológicos medidos en el arrecife se compararon con los datos previos reportados para La Galleguilla y para todo el SAV (Tabla 14), con el fin de comparar la situación actual en la que se encuentran los organismos. Se sabe que en el SAV se tienen registradas un total de 36 especies y que existe un gradiente en el que los arrecifes que se localizan más cercanos a la costa presentan una diversidad menor (Horta-Puga y Tello-Musi, 2009; Horta-Puga *et al.*, 2015b), como es el caso de Hornos (7 spp.), Isla de Sacrificios (15 spp.) y por supuesto La Galleguilla (11 spp.). Esto podría asociarse a que están localizados en las inmediaciones del Puerto de Veracruz, por lo cual, el grado de impacto por la actividad humana es alto, además de que están sometidos a mayores condiciones de estrés ambiental que los arrecifes más alejados, que presentan una riqueza específica mayor, como Anegada de Afuera (20 spp.), Isla de Enmedio (20 spp.) y Cabezo (17 spp.), indicando condiciones ambientales más adecuadas para el desarrollo de las comunidades arrecifales (Horta-Puga y Tello-Musi, 2009). La menor riqueza específica de Veracruz (36 spp.) comparada con los arrecifes de Quintana Roo (44 spp.) se asocia, entre otras cosas, a la mayor severidad ambiental que afecta al Golfo de México (área de alta sedimentación terrígena y fluctuación en la temperatura del agua) y al impacto natural y antropogénico (Gutiérrez *et al.*, 1993; Horta-Puga *et al.*, 2015b). La baja cobertura coralina encontrada en La Galleguilla (12.4 ± 2.5 %) también puede atribuirse a su cercanía con la costa y a la exposición directa de actividades humanas, que conlleva un deterioro ambiental notorio, presentando una cobertura más baja que el promedio general por arrecife del SAV (19.1 ± 14.7 %), así, se pueden encontrar coberturas de más del 25% en arrecifes alejados de la costa (Isla Verde y La Blanca). Aunque el sistema arrecifal es un ambiente de cambio constante por causas naturales, hay evidencias claras de impacto humano, que combinadas con fenómenos naturales reducen la recuperación de los arrecifes, un ejemplo de comunidades coralinas impactadas son los arrecifes tipo parche del centro oeste de Florida que se caracterizan por una baja diversidad y abundancia, así como un predominio de especies con grandes pólipos o colonias de pequeño tamaño. Estos

arrecifes, están sujetos al aumento estacional de sólidos suspendidos debido a tormentas y huracanes ocasionales y se encuentran contiguos a sitios designados para la depositación de escombros de dragado (Rice y Hunter 1992). De manera que, en términos generales, un ambiente arrecifal perturbado presenta densidad, cobertura y diversidad bajas y concentraciones altas ya sea de sólidos en suspensión, nutrientes, hidrocarburos o metales pesados (Roger, 1990; Rice y Hunter, 1992). El arrecife La Galleguilla cumple con la mayoría de estos puntos, presenta poca diversidad y una comunidad que tiende a la dominancia de especies más resistentes como *S. siderea* y *O. diffusa*, por lo que es ya un arrecife muy impactado y no se encuentra en un buen estado de salud. Aunque no es sorprendente que las especies que habitan este arrecife demuestran alta tolerancia al estrés ambiental, puede suceder que estén viviendo cerca de sus límites de tolerancia fisiológica a las condiciones ambientales (Rice y Hunter, 1992) y pueden ser más sensibles a las condiciones adversas adicionales por periodos prolongados.

Tabla 14. Comparativo entre los parámetros ecológicos reportados en trabajos previos del SAV y La Galleguilla y los resultantes del muestreo realizado.

Localidad	No. de Especies	Cobertura (%)	Densidad (ind/m)	Autor (es)
SAV	36	19.1±14.7	1±0.6	Horta-Puga y Tello Musi 2009
	16	13.3±7.5	0.8±0.3	
La Galleguilla	6	15±10	-	Horta-Puga 2003
	16	13.3±7.5	13.3±7.5	Horta-Puga <i>et al.</i> 2015a
	11	12.4±2.5	0.8±0.2	Promedio Campaña C-10 y C-11

Escenarios hipotéticos de impacto por la ampliación del puerto de Veracruz

La primera etapa de la ampliación del puerto de Veracruz en el periodo 2014-2018, originó que para Septiembre del 2015 ya se tuviera un avance del 25% en la construcción del rompeolas poniente contabilizando 1 km de una longitud total de 4.2 km proyectados (APIVER, 2015). En una ampliación portuaria existen diferentes factores que pueden producir efectos dañinos a los arrecifes cercanos, ya sea por daño mecánico directo o por efectos subletales en los organismos (PIANC, 2012). Partiendo de esta premisa y teniendo en consideración las actividades involucradas en la ampliación del puerto de Veracruz, en este trabajo se consideraron tres escenarios hipotéticos de impacto, generados por un aumento en la cantidad de hidrocarburos, de sólidos suspendidos y de sedimentación. Los escenarios se plantearon a partir de la premisa de que en este tipo de construcción la magnitud de daño puede variar, por lo que se incrementó en forma constante el valor actual del parámetro en base a la afectación estimada. Así, para un escenario de bajo impacto los valores base se aumentaron conservativamente, en el caso de un impacto moderado se tienen valores intermedios, y en el caso de un impacto alto se aumentan los valores drásticamente.

Los datos de los parámetros ambientales para el SAV, reportados en el proyecto CONABIO GM005 y el proyecto SNIB-CONABIO DM002, se utilizaron como el valor base para proyectar los escenarios hipotéticos. La concentración promedio de hidrocarburos medido como grasas y aceites en el SAV (6.2 ± 3.8 mg/l) se aumentó un 100% (12.4 mg/l) en un impacto bajo, un 200% (18.6 mg/l) en un impacto moderado y un 300% (24.8 mg/l) en un impacto alto. Cada episodio de impacto por hidrocarburos es un problema ecológico único y, aunque no hay muchos datos en literatura de los cuales partir sobre las dosis que los corales son capaces de resistir, existen algunos trabajos que permiten generar una idea de las cantidades letales y subletales. Se ha visto que las respuestas anormales en los organismos empiezan a presentarse desde concentraciones de 0.01 mg/l y los efectos subletales mayores hasta en concentraciones de 10 mg/l (Loya y Rinkevich, 1979; Peters *et al.*, 1981; Haapkylä *et al.*, 2007).

Los niveles de sólidos suspendidos considerados normales para el ambiente arrecifal varían en un rango de 5 mg/l a 10 mg/l (Roger 1990), el valor actual en el SAV es de 8.7 ± 7.8 mg/l, a diferencia de ambientes arrecifales muy perturbados que presentan cantidades de 40 mg/l ó hasta 100 mg/l (Hoitink, 2003; Larcombe *et al.*, 2001; Restrepo *et al.*, 2016). Durante actividades de dragado se han llegado a reportar valores hasta 400 veces mayores a lo normal que pueden ir de 840 a 7200 mg/l. Los niveles de sólidos suspendidos pueden aumentar una o dos ordenes de magnitud instantáneamente con valores mínimos mayores a 200 mg/l (Gilmour, 1999; Jones *et al.*, 2015). Experimentalmente se ha probado que los corales pueden permanecer en ambientes con concentraciones de 50 mg/l sin presentar efectos visibles, valores tan altos no se encuentran en el arrecife La Galleguilla, pero existe literatura en donde inclusive se ha visto que algunas especies (p. ej. *P. astreoides*) pueden soportar de 500 a 1000 mg/l (Thompson, 1980; Thompson y Bright, 1980; Dallmeyer *et al.*, 1982; Rice, 1984; Rice y Hunter, 1992). Como se tiene una cantidad baja de sólidos suspendidos promedio para el SAV (8.7 ± 7.8 mg/l), se consideró un aumento de 1000% (95.7 mg/l) en un impacto bajo, 2000% (182.7 mg/l) en un impacto moderado y 3000% (269.7 mg/l) en un impacto alto. Aunque es un aumento muy grande en comparación con los valores normales, se realizó de esta manera para empatar con los datos reportados en literatura y, asumiendo un impacto importante de las actividades de ampliación portuaria.

Es importante señalar que cuando existe una actividad de dragado normalmente hay eventos masivos de sedimentación ya que hay mucho material que se resuspende y se deposita, en algunos de estos episodios las tasas de sedimentación pueden llegar a valores de hasta 1000 mg/cm²/día. Así, tomando esta premisa y las referencias de los trabajos publicados (Loya, 1976; Lasker, 1980; Torres, 1998; Nugues y Roberts, 2003; Torres y Morelock, 2002), y considerando el valor actual de la tasa de sedimentación para el SAV es de 21.7 ± 18.4 mg/cm²/día, en la Tabla 15 se muestran la variación de los valores actuales con los escenarios hipotéticos.

Tabla 15. Variación de los valores normales del SAV (VN_{SAV}) para sólidos suspendidos (SS), tasas de sedimentación (TS) y grasas y aceites (GyA), con los escenarios hipotéticos de impacto: bajo (IB), moderado (IM) y alto (IA).

Estrés	VN_{SAV}	IB	IM	IA
SS (mg/l)	8.7	95.7	182.7	269.7
TS (mg/cm²/día)	21.6	237.6	453.6	669.6
GyA (mg/l)	6.2	12.4	18.6	24.8

Impacto en la estructura de la comunidad

Primero se discute el efecto potencial que tienen los sólidos suspendidos, la sedimentación y los hidrocarburos por separado sobre la estructura de la comunidad, se muestra cómo cambia la abundancia relativa de las especies de La Galleguilla en los escenarios de bajo, moderado y alto impacto, para después analizar el impacto de los tres factores en conjunto. Este cambio en la abundancia de las especies parte del supuesto de que todos los individuos de las especies resistentes sobreviven y todos los individuos de las especies sensibles mueren.

Hidrocarburos

En el escenario de bajo impacto, donde los valores aumentan un 100%, todas las especies permanecerían en el arrecife pero, posiblemente, empezarían a verse respuestas conductuales anormales y efectos subletales como blanqueamiento parcial (pérdida de zooxantelas), producción excesiva de moco para liberar contaminantes de la superficie del coral, mucositos atrofiados y disminución de cobertura coralina (Peters *et al.*, 1981).

En el escenario de impacto moderado permanecerían 5 especies, *P. astreoides*, resistente a la exposición de aceite se mantiene, también permanecería *A. agaricites*, ya que se puede encontrar en ambientes con contaminación crónica por hidrocarburos y de hecho presenta el número más alto de corales juveniles en las zonas contaminadas por ser extremadamente común como recluta y plánula (Bak, 1987). En este escenario no sobrevivirían especies como *M. decactis*, *S. intersepta*, *M.cavernosa*, *O. faveolata*, *C. natans* y *A. fragilis*, algunas de ellas sensibles a la contaminación por hidrocarburos (Bak y Elgershuizen, 1976). En el escenario de alto impacto la situación sería catastrófica, los valores aumentarían un 300% y de las 11 especies presentes en el arrecife solo quedarían las tres más resistentes: *S. siderea*, *O. diffusa* y *O. annularis*. *Siderastrea siderea* permanecería como la más abundante, aunque las colonias muy posiblemente estarían en malas condiciones ya que presentarían un aumento en el número de lesiones, pérdida de tejido por mortalidad parcial y reducción de tamaño de las gónadas (Nugues y Roberts, 2003; Torres y Morelock, 2002). *Oculina diffusa* es la especie con mayor resistencia de todas las presentes en el arrecife (Horta-Puga y Tello-Musi, 2009). *Orbicella annularis* esta reportada en ambientes con contaminación crónica por hidrocarburos, también es capaz de remover exitosamente aceite mezclado con sedimento que caen sobre su superficie y aunque presenta una disminución en la cobertura puede sobrevivir a cantidades muy altas de hidrocarburos en medio (Bak y Elgershuizen, 1976). En la Figura 4 se puede observar el cambio en la abundancia relativa de las especies en los diferentes escenarios hipotéticos de impacto.

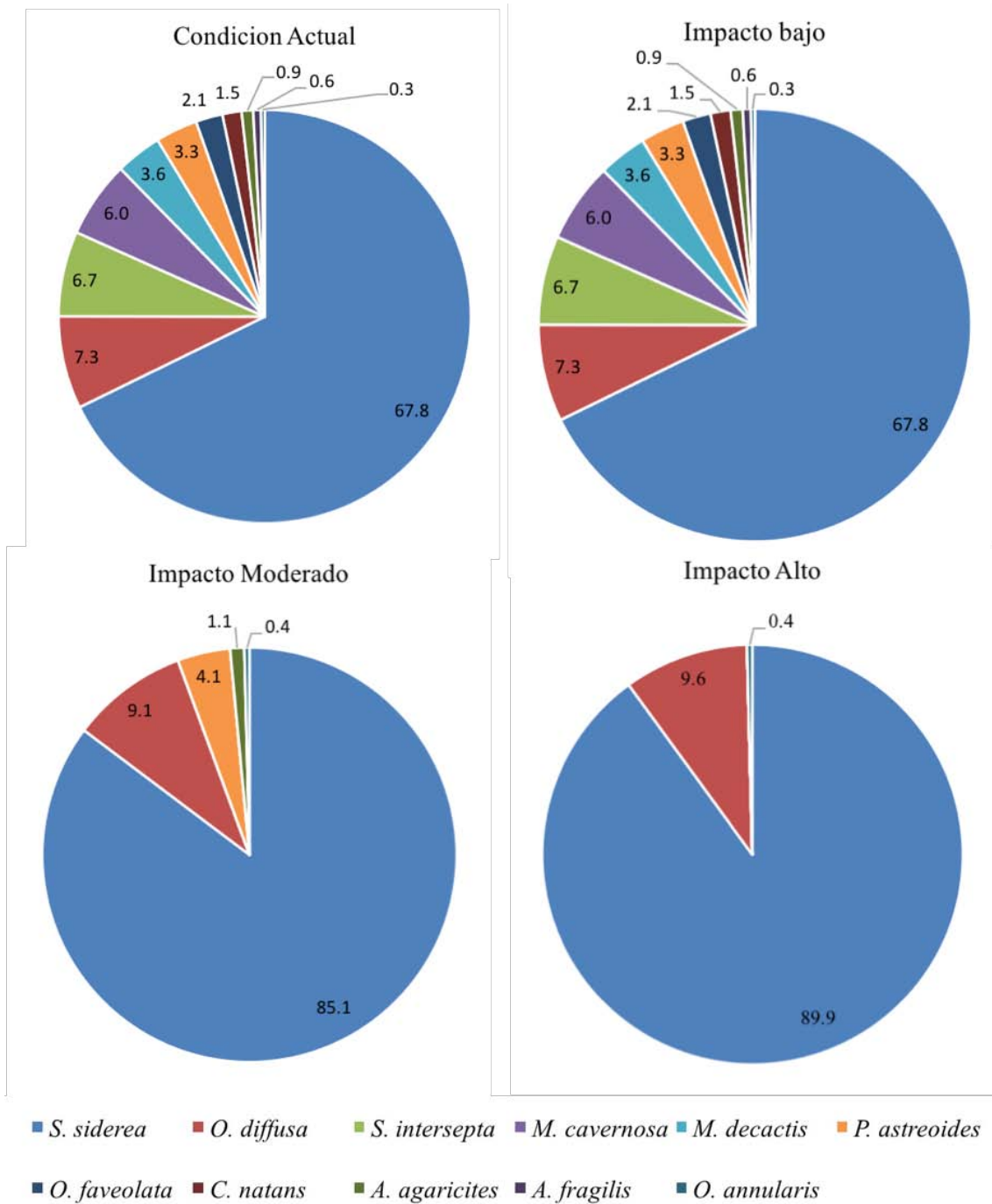


Figura 4. Variación en la abundancia relativa (%) por especie a diferentes niveles de hidrocarburos. Se puede observar un cambio notorio comenzando con 11 especies en el escenario de impacto bajo, 5 en el caso de un impacto moderado y por último las 3 especies más resistentes (*S. siderea*, *O. diffusa* y *O. annularis*) en un escenario de impacto alto.

Sólidos suspendidos

La reducción de luz es probablemente el efecto más importante de todos los relacionados con la turbidez sobre los corales. Los corales hermatípicos que normalmente se encuentran a profundidades ubicadas entre 30-200 m de la zona fótica, a menudo, presentan morfologías foliáceas o planas para maximizar el área que captura la luz disponible, en respuesta a la disminución en los niveles de esta (Erftemeijer *et al.*, 2012). Cuando existe una cantidad muy alta de sólidos suspendidos las condiciones a las que están sujetos los corales son parecidas a estar a profundidades donde no llega una cantidad adecuada de luz. En el escenario de bajo impacto se esperaría que todas las especies fueran capaces de resistir, ya que la mayoría de ellas presentan formas foliáceas, encostrantes y masivas que actúan como trampas de luz, aun así las colonias probablemente empezarían a presentar estrés subletal, posiblemente habría disminución de la tasa de calcificación, como resultado de la baja tasa fotosintética del simbiote, disminución de cobertura y, principalmente, blanqueamiento parcial por la expulsión de las zooxantelas (Erftemeijer *et al.*, 2012). En un impacto moderado no lograrían permanecer *C. natans* ni *O. faveolata*, la primera sufre blanqueamiento parcial y la segunda mortalidad parcial cuando hay una gran cantidad de sólidos suspendidos en columna de agua (Abdel-Salam y Porter, 1988; Rogers, 1979; Nugues y Roberts, 2003). *Agaricia agaricites* es una especie resistente a cantidades altas de sólidos suspendidos, su morfología le permite actuar como trampa de luz y le confiere ventaja para permanecer en este escenario (Bak, 1978; Rogers, 1979; Thompson, 1980). En el escenario de alto impacto permanecería *S. siderea*, siendo la más abundante gracias a su gran resistencia a ambientes impactados, al igual que *P. astreoides* (Loya, 1976; Torres y Morelock, 2002; Horta-Puga *et al.*, 2015**b**). *Oculina diffusa* tiene una alta resistencia a la turbidez y se sabe también que es zooxantelada facultativa (Cairns, 2000), lo que significa que pueden sobrevivir con o sin zooxantelas, lo que podría influir en su resistencia a ambientes turbios y por último aunque *O. annularis* probablemente disminuiría su cobertura, puede resistir niveles altos de sólidos suspendidos (Torres y Morelock, 2002; Bak, 1978). En la Figura 5 se puede observar cómo cambia la estructura de la comunidad en los diferentes escenarios hipotéticos de impacto.

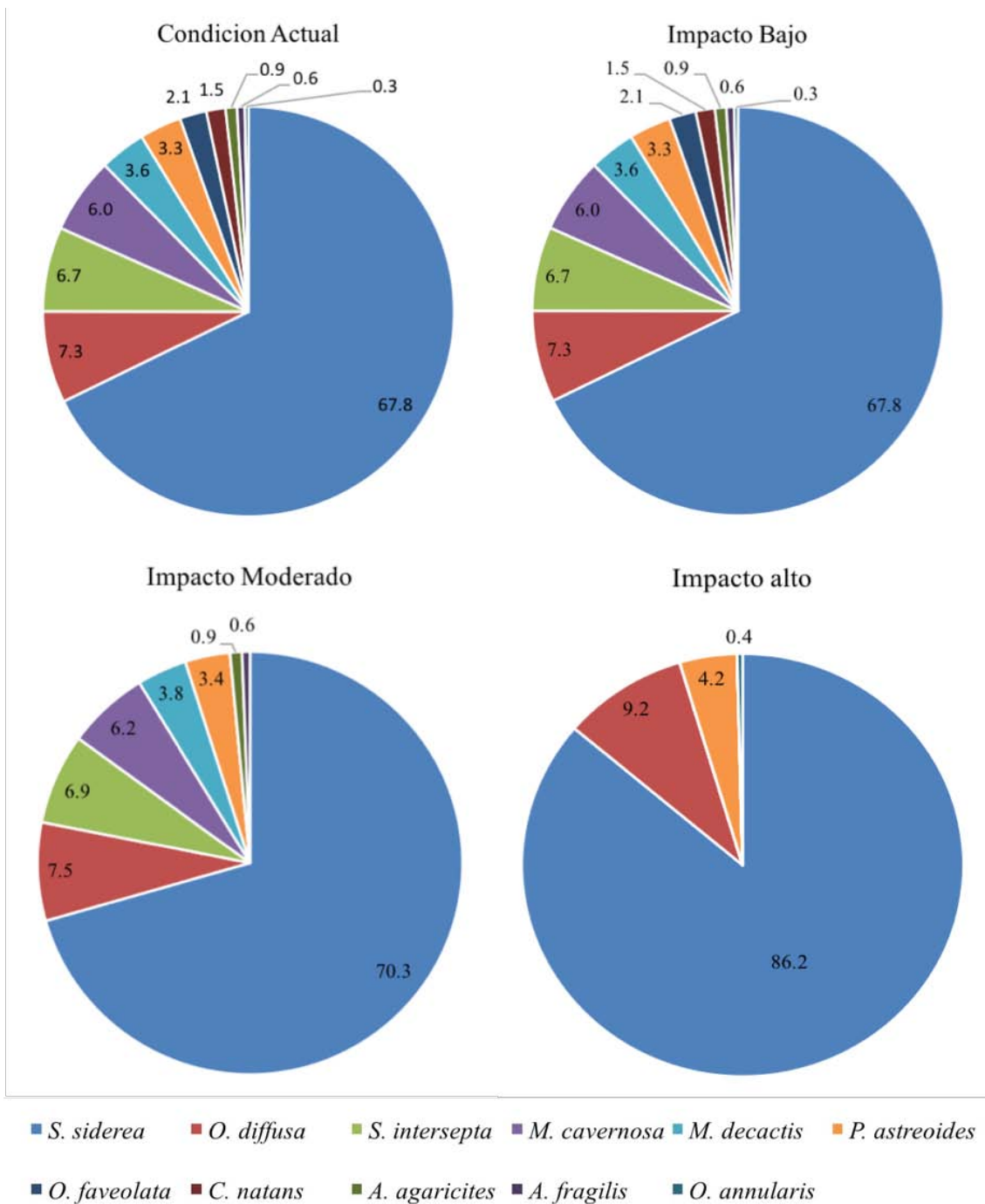


Figura 5. Variación en la abundancia relativa (%) por especie a diferentes niveles de sólidos suspendidos. No se observa un cambio notorio en el escenario de impacto bajo con 11 especies, pero sí en el escenario de impacto moderado donde sólo soportan las 8 especies más resistentes a este tipo de impacto; en el escenario de impacto alto sólo quedan las 4 especies más resistentes (*S. siderea*, *O. diffusa*, *P. astreoides* y *O. annularis*).

Tasas de sedimentación

La tolerancia de los corales a grandes cargas de sedimentos puede variar considerablemente entre especies. La sensibilidad a estos efectos depende de la capacidad de remoción de partículas, la morfología del cáliz y de la colonia, la orientación del crecimiento y los tipos de sedimentos involucrados (Rice y Hunter, 1992). De manera que existe una relación estrecha entre el tipo de partícula, la cantidad de sedimento y la morfología del coral y todo esto influye en la resistencia de cada especie (Lasker, 1980). En un escenario de bajo impacto posiblemente las especies *A. agaricites* y *A. fragilis* desaparecerían ya que las colonias son encostrantes y se encuentran muy cerca del fondo arrecifal (Erftemeijer *et al.*, 2012), lo que propiciaría que en eventos masivos de sedimentación las colonias quedaran completamente enterradas. En el caso de un impacto moderado *O. faveolata* y *M. decactis* estarían en desventaja removiendo sedimento de manera pasiva por su morfología y desaparecerían (Nugues y Roberts, 2003; Bak y Elgershuizen, 1976). *Porites astreoides* se considera una especie abundante en áreas de sedimentación masiva, no presenta mortalidad a la exposición de sedimentos, ya que presenta la ventaja de que la sedimentación de partículas finas no aumenta la producción de la capa mucosa que cubre al coral, permitiendo que esa energía se utilice para otras funciones (Brown y Bythell, 2005; Horta-Puga *et al.*, 2015) permitiendo, así, que permanezca en este nivel de impacto. En el escenario de alto impacto *S. siderea* también se presenta como la especie más abundante, *O. diffusa* también permanece, ya que su morfología le otorga la ventaja en ambientes con sedimentación elevada, los corales ramificados están mejor adaptados a la sedimentación por la remoción pasiva de las partículas que se sedimentan, se ha demostrado que esta especie es la dominante después de actividades de dragado (Dryer y Logan, 1978; Abdel-Salam y Porter, 1988; Rice y Hunter, 1992; Bull y Kendall, 1994; Flood *et al.*, 2005; Horta-Puga y Tello-Musi, 2009). *Montastraea cavernosa* también permanecería, ya que es una especie resistente al estrés hidro-meteorológico y al daño mecánico; esta reportada como dominante en áreas con altas tasas de sedimentación (Lasker, 1980; Torres, 1998; Torres y Morelock, 2002; MacDonald y Perry, 2003). La última especie, *S. intersepta* es capaz de permanecer enterrada hasta por 16 días con una supervivencia del 50% de la colonia, esto le conferiría una ventaja muy grande sobre las demás especies, ya que, en operaciones de dragado, se ha reportado que llega a haber

capas de sedimento sobre los corales mayores a 1 cm (Bak, 1978) y, en un escenario tan drástico como este, muchas de las especies quedarían enterradas. En la Figura 6 se observa el cambio estructural en la comunidad con los diferentes escenarios hipotéticos de impacto.

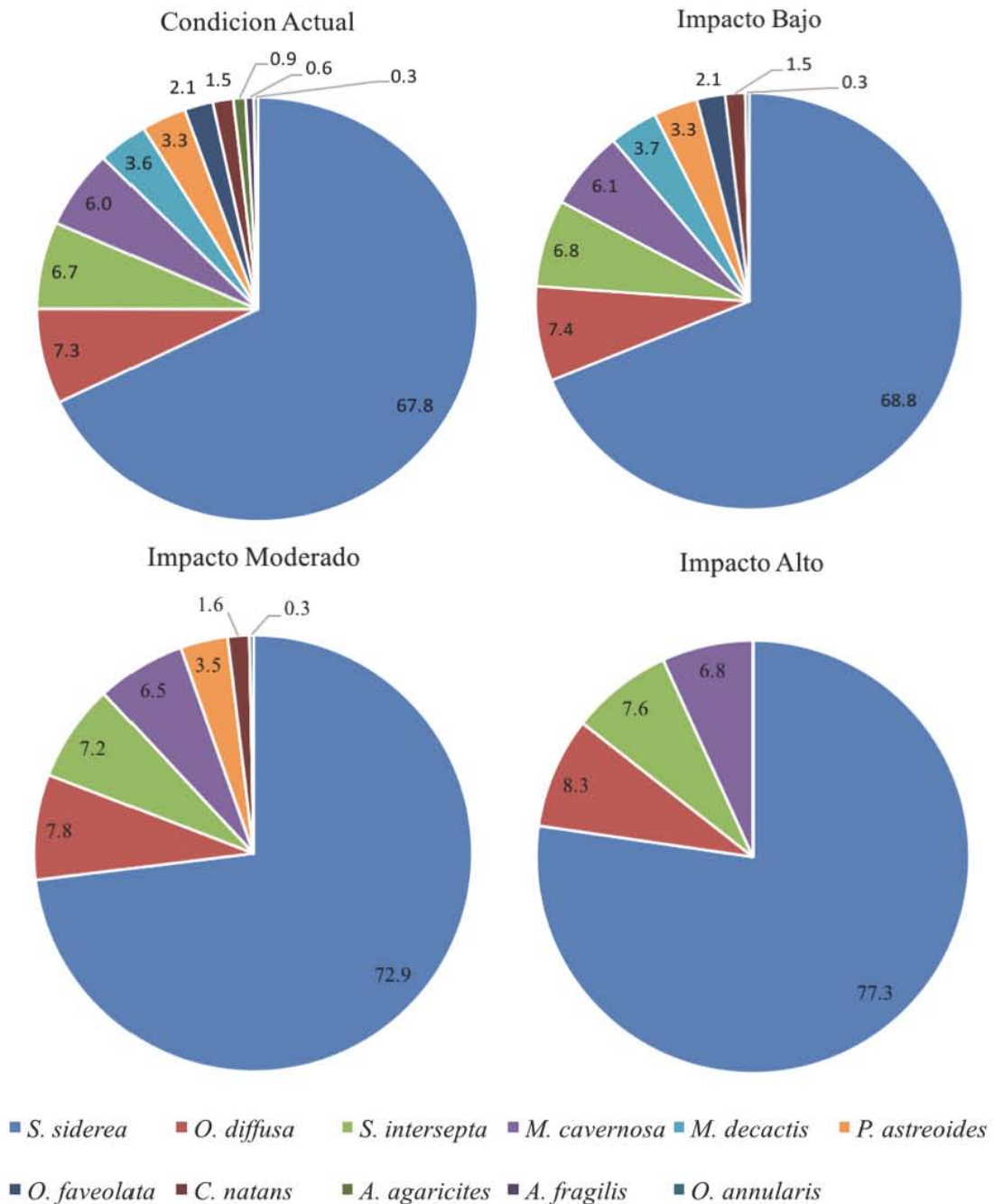


Figura 6. Variación en la abundancia relativa (%) por especie a diferentes tasas de sedimentación. Se puede observar un cambio de la condición actual al escenario de impacto bajo, las especies con colonias más pequeñas no sobrevivirían por lo que permanecerían 9 especies, en un impacto moderado 7 y por último las 4 más resistentes (*S. siderea*, *O. diffusa*, *S. intersepta* y *M. cavernosa*) en un impacto alto.

Impacto con los parámetros hidrocarburos, sólidos suspendidos y sedimentación actuando al mismo tiempo

En la obra de ampliación, el cambio en los parámetros en discusión no ocurren aisladamente, probablemente, en el momento que se utiliza la maquinaria para dragar y colocar las estructuras de concreto para los rompeolas, se resuspenden partículas de sedimento, lo que aumenta la cantidad de sólidos suspendidos en el agua (turbidez), que después, se depositarán aumentando las tasas de sedimentación, en algunos casos siendo tan elevadas que entierran completamente al arrecife. De esta manera tenemos los tres parámetros actuando al mismo tiempo: hidrocarburos, sólidos suspendidos y sedimentación. Así, la acción de los tres factores en conjunto es la forma más probable en que suceda. Es importante señalar que aunque una especie puede ser resistente a un factor, puede ser sensible a otro, por lo que los cambios en la estructura de la comunidad no serán iguales que en los escenarios aislados, en este caso se tomaron las características específicas de cada especie y se priorizó su resistencia con la magnitud del impacto al que se exponen, de tal manera que los cambios en la abundancia relativa son mucho más notorios por el estrés más drástico. Con el escenario hipotético de bajo impacto se esperaría que la comunidad permaneciera relativamente igual. Las especies del género *Agaricia*, no sobrevivirían, por lo que el arrecife tendría 9 especies (Figura 7). Con un impacto moderado permanecerían 6 especies (Figura 7) que son buenas removedoras activas o pasivas de sedimento, a estos niveles muy posiblemente se empezaría a ver estrés subletal mayor. Las especies sobreviven pero hay una disminución en la tasa de crecimiento y cobertura coralina, también puede haber mortalidad y blanqueamiento parcial, ya que hay una gran inversión de energía en la producción de moco, por las células mucosas (mucocitos) del coral, para lograr deshacerse de las partículas de sedimento y los contaminantes que estén sobre su superficie, más de un tercio de las especies ya han desaparecido en este escenario. En el escenario de alto impacto se maximizan los tres parámetros y sólo permanecen *S. intersepta* por su capacidad para permanecer enterrada sin sufrir mortalidad. *O. diffusa* que presenta el antecedente de encontrarse en los arrecifes ubicados cerca de la ciudad de Veracruz (Hornos y La Galleguilla) como una especie importante dada su facilidad para permanecer y dominar ambientes muy perturbados (Horta-Puga y Tello-Musi, 2009; Horta-Puga *et al.*, 2015b). Por último *S. siderea* que está presente en ambientes con gran cantidad de sólidos suspendidos y no se ve afectada por la turbidez extrema, ni

la contaminación por hidrocarburo. En la Figura 7 se muestran los cambios en la abundancia relativa por especie, cuando los tres parámetros actúan al mismo tiempo.

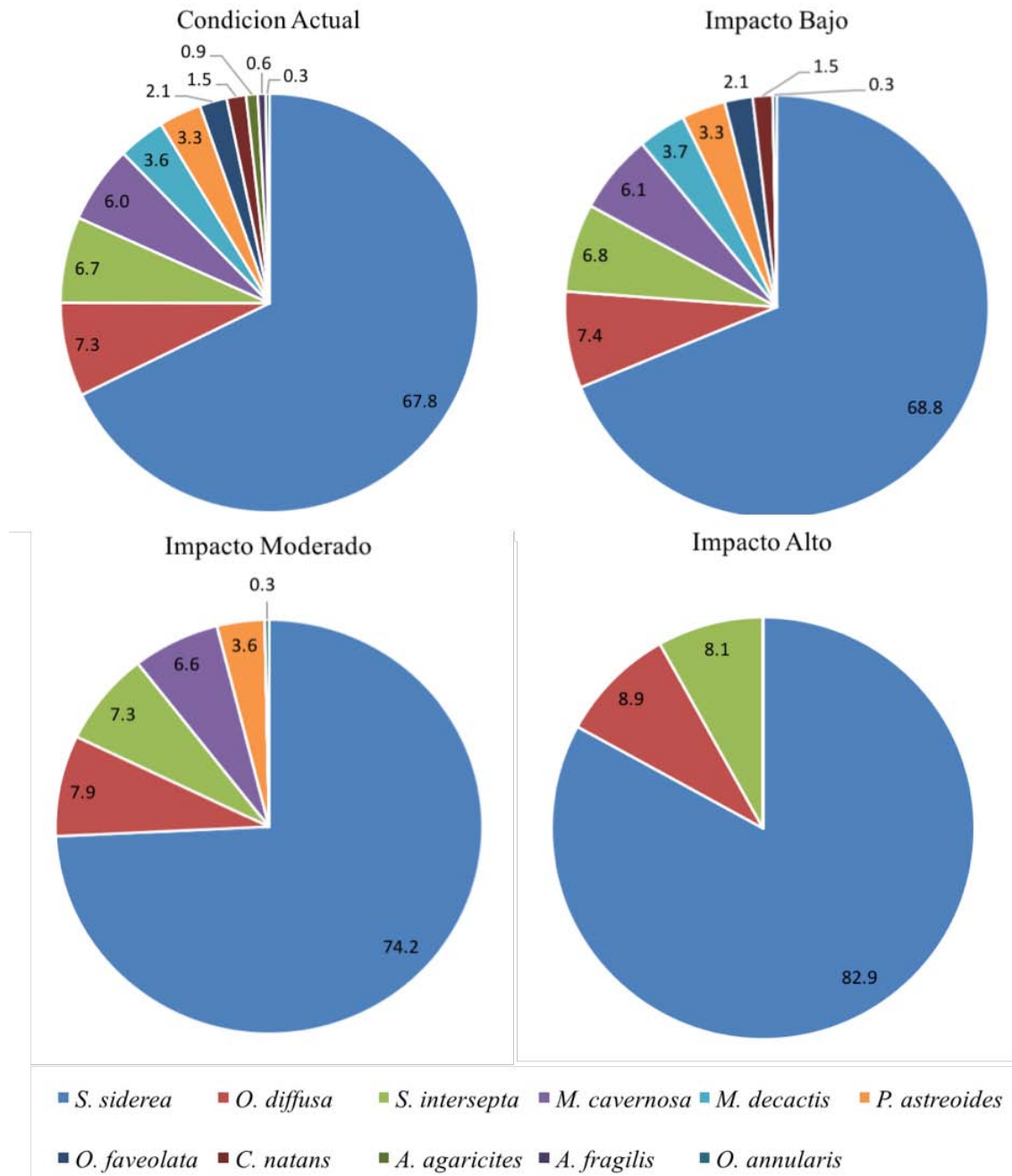


Figura 7. Variación en la abundancia relativa (%) por especie cuando los tres parámetros actúan al mismo tiempo. En este caso, los cambios en la estructura de la comunidad son diferentes que en los escenarios de impacto de factores aislados, ya que aunque una especie puede ser resistente a un factor, puede ser sensible a otro. Así en el escenario de impacto bajo se tienen 9 de las 11 especies iniciales, en un impacto moderado 6 especies y por último quedan sólo las 3 más resistentes a los tres factores (*S. siderea*, *O. diffusa* y *S. intersepta*).

Al ir incrementando la cantidad de daño sobre los corales, se esperaría que los organismos presentaran estrés subletal, lo que disminuirá la cobertura y densidad coralina, también podrían presentar estrés letal lo que disminuiría la cantidad de especies presentes en el arrecife (Figura 8). Como se puede apreciar en la Figura 9, de la cobertura general normal de 12.42% nos vamos a una cobertura de 9.27%, en el peor de los escenarios, no es raro que no haya una disminución tan marcada ya que las especies más abundantes permanecen así, permitiendo que la cobertura no disminuya tan drásticamente. Lo mismo sucede con la densidad (Figura 10) de tener un valor general de 0.82 ind./m se termina con un valor de 0.67 ind./m en el peor de los casos. Estos datos permiten ver de manera cualitativa como la condición del arrecife empeoraría inclusive con un impacto bajo, ya que hay que recordar que La Galleguilla está muy impactado por su cercanía con el puerto y la ciudad de Veracruz.

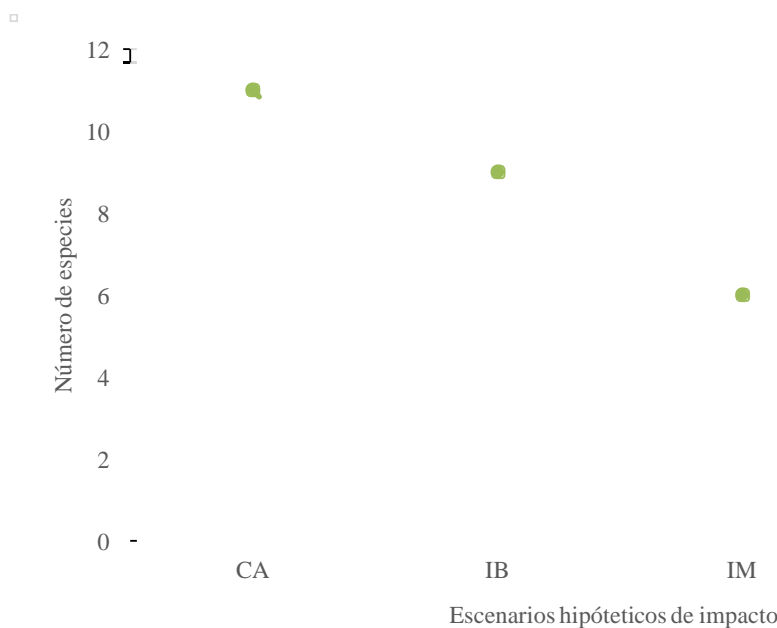


Figura 8. Cambio en el número de especies al momento del muestreo con relación a los 3 diferentes escenarios hipotéticos. Se puede observar como hay una disminución significativa partiendo de 11 especies y terminando con 3. CA: Condición Actual, IB: Impacto Bajo, IM: Impacto Moderado, IA: Impacto Alto.

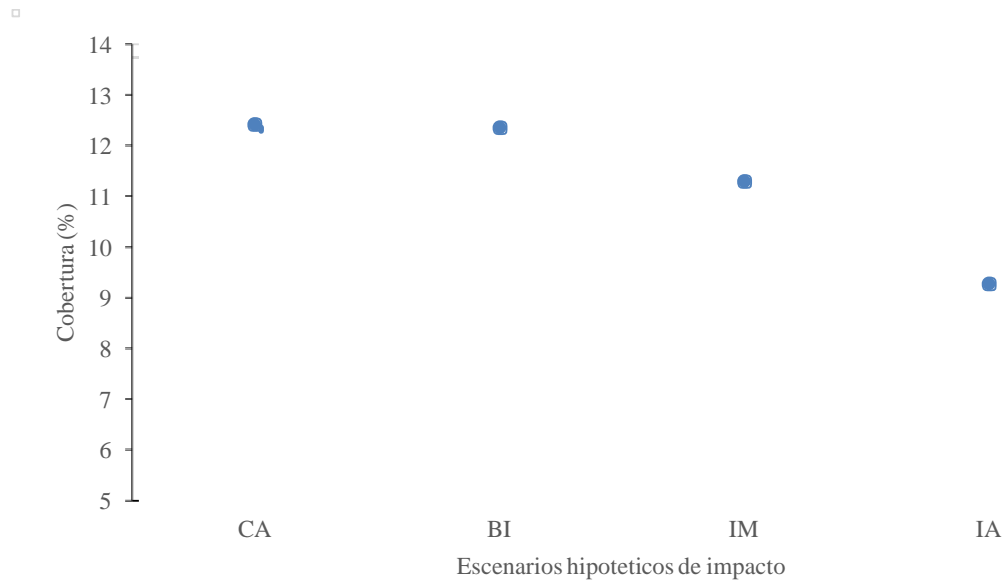


Figura 9. Cambio en la cobertura general del arrecife al momento del muestreo con relación a los 3 diferentes escenarios hipotéticos. No se observa una disminución muy marcada en la cobertura en los escenarios de moderado y alto impacto, ya que las especies más abundantes permanecen así, permitiendo que la cobertura no disminuya tan drásticamente. CA: Condición Actual, IB: Impacto Bajo, IM: Impacto Moderado, IA: Impacto Alto.

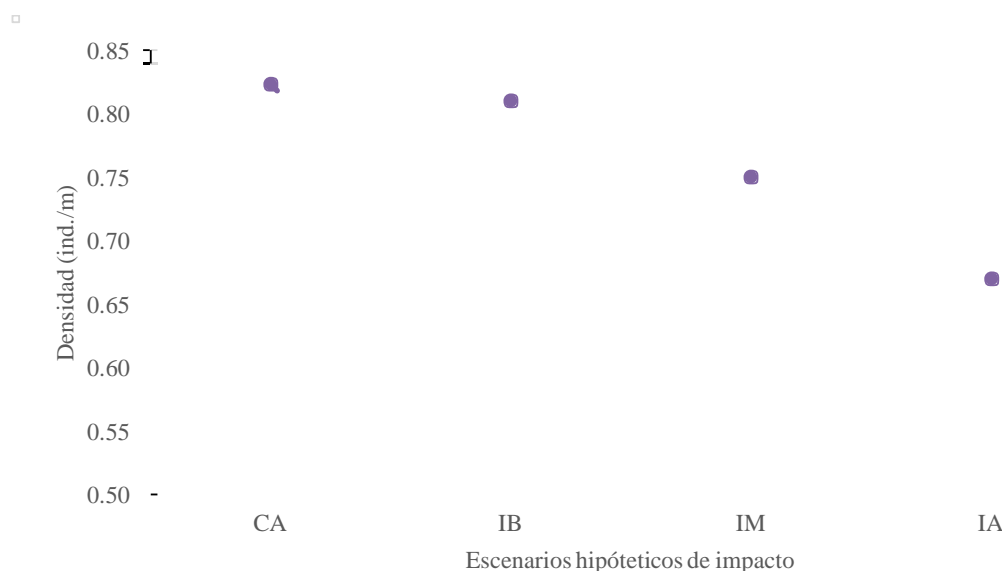


Figura 10. Cambio en la densidad general del arrecife al momento del muestreo con relación a los 3 diferentes escenarios hipotéticos. Se observa una disminución marcada iniciando con 0.82 ind./m y en el escenario de impacto alto con un valor de 0.67 ind./m. CA: Condición Actual, IB: Impacto Bajo, IM: Impacto Moderado, IA: Impacto Alto.

Consideraciones finales

La expansión del puerto de Veracruz es ya un hecho, las obras van avanzando y se contempla que para el 2018 la primera fase de la obra esté completa. Reconociendo el valor que tienen los arrecifes de coral, en una obra de estas dimensiones, se necesitan establecer criterios estrictos de calidad ambiental para construcciones navales, con el fin de proteger el ecosistema arrecifal.

Este trabajo se realizó con el fin de aportar información básica sobre la condición actual de perturbación en la que se encuentra La Galleguilla y el impacto que posiblemente sufra con esta ampliación portuaria.

Es muy importante que las autoridades responsables tomen conciencia de la magnitud y tipo de daño que este proyecto puede generar sobre los corales, para que la asignación de recursos que empleen y las medidas de mitigación se puedan gestionar de la mejor manera para evitar un daño irreparable al arrecife

CONCLUSIONES

1. Actualmente el arrecife La Galleguilla presenta una riqueza específica de 11 especies, un índice de diversidad Shannon-Wiener de 1.80 *bits/ind.*, una densidad promedio de 0.7 ± 0.3 ind/m y una cobertura de $12.4 \pm 2.5\%$, por lo que se le considera como un arrecife impactado, que presenta baja diversidad, dominancia de especies resistentes, baja cobertura y densidad coralina.
2. Considerando un cambio hipotético, pero realista (dada la información publicada previamente), en las condiciones ambientales que se manifestarían con un incremento del 100%, 200% y 300% en la concentración de hidrocarburos en columna de agua, y de 1000%, 2000% y 3000% en la concentración de sólidos en suspensión y en tasas de sedimentación, debido a las obras de ampliación portuaria, se prevé un cambio importante en la estructura de la comunidad de corales hermatípicos, en la cual *S. siderea* se hace cada vez más dominante, asociado a la reducción en la riqueza específica, en la cobertura y en la densidad.
3. Los cambios que se prevé se manifiesten en la comunidad coralina en cada uno de los escenarios por el efecto simultáneo de los tres factores de impacto son: (1) Impacto bajo: se mantienen *S. siderea*, *O. diffusa*, *S. intersepta*, *M. cavernosa*, *M. decactis*, *P. astreoides*, *C. natans*, *O. annularis* y *O. faveolata*, desaparecen *A. agaricites* y *A. fragilis*. La cobertura disminuye de 12.42 % a 12.36% y la densidad de 0.82 ind./m a 0.81 ind./m. (2) Impacto moderado: las especies probablemente presentan respuestas conductuales anormales y efectos subletales, permanecen *S. siderea*, *O. diffusa*, *S. intersepta*, *M. cavernosa*, *P. astreoides* y *O. annularis*. La cobertura disminuye de 12.42 % a 11.3% y la densidad de 0.82 ind./m a 0.75 ind./m. (3) Impacto alto: permanecen las especies más resistentes *S. siderea*, *O. diffusa* y *S. intersepta*. La cobertura disminuye de 12.42 % a 9.27 % y la densidad de 0.82 ind./m a 0.67 ind./m.

4. Por lo tanto, se prevé que la ampliación del puerto de Veracruz en la Zona Norte, tendrá un impacto muy alto sobre el arrecife La Galleguilla, lo que lo afectará negativamente, y potencialmente destruirá el ecosistema coralino.

LITERATURA CITADA

- Abdel-Salam, H.A. y J.M. Porter. 1988. Physiological effects of sediment rejection on photosynthesis and respiration in three Caribbean Reef Corals. *Proceedings Sixth International Coral Reef Symposium, Australia (2)* 285–292.
- Administración Nacional de Puertos (ANP). 2006. *Guía Ambiental para obras de construcción, Sector de Puertos*. República Oriental del Uruguay. 101 p.
- Administración Portuaria Integral de Veracruz (APIVER). 2006. *Datos generales del Proyecto, del Promovente y del Responsable del Estudio de Impacto Ambiental*. ARGO Consultores Ambientales S.A. de C.V. 172 p.
- Administración Portuaria Integral de Veracruz (APIVER). 2015. *Puerto de Veracruz*. <http://www.puertodeveracruz.com.mx/avanza-construccion-del-rompeolas-poniente-25-por-ciento/> [Consultado 12/02/2015].
- Aleph, Ingenieros Consultores S.A. de C.V. 2009. *Estudio de agitación, operatividad de atraques y transporte de sedimentos para la ampliación natural del Puerto de Veracruz en la zona Norte*. Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT) y Administración Portuaria Integral de Veracruz S.A. de C.V. México. 17 p.
- Alvarez-Filip, L., N.K. Dulvy, I.M. Côté, A.R. Watkinson y J.A. Gill. 2011. Coral identity underpins architectural complexity on Caribbean reefs. *Ecological Applications* 21(6): 2223-2231.
- Asociación de Industriales del Estado de Veracruz A.C (AIEVAC). 2015. *Ampliación del puerto de Veracruz*. <http://aievac.org.mx/vernota.php?id=259> [Consultado 9/08/2015].
- Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment (AGRRA). 2010. *The AGRRA Rapid Reef Assessment Protocol*. <http://www.agrra.org/> [Consultado 1/08/2015].

- Bak, R.P.M. 1978. Lethal and Sublethal Effects of Dredging on Reef Corals. *Marine Pollution Bulletin* 9(1):14-16.
- Bak, R.P.M. 1987. Effects of Chronic Oil Pollution on a Caribbean Coral Reef. *Marine Pollution Bulletin* 18(10): 534-539.
- Bak, R.P.M. y J.H.B.W. Elgershuizen. 1976. Patterns of oil-sediment rejection in corals. *Marine Biology* 37:105-113.
- Blázquez, D.C., Y.N. Celaya y J.M.T. Velasco. 2011. Veracruz. *Historia Breve*. 2^{da} Ed. Fondo de cultura económica. México. 353 p.
- Brown, B.E. y J.C. Bythell. 2005. Perspectives on mucus secretion in reef corals. *Marine Ecology Progress Series* 296: 291-309.
- Bull, S.A. y Jr.J.J. Kendall. 1994. An Indication of the Process: Offshore Platforms as artificial reefs in the Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science*. 55(2-3):1086-1098.
- Cairns, D.S. 2000. A Revision of the Shallow-Water Azooxanthellate Scleractinia of the Western Atlantic. En: Vaan Der Steen J. L. (ed.). *Studies on the Natural History of the Caribbean Region*. Publications Foundation for Scientific Research in the Caribbean Region. Amsterdam. 208 p.
- Carricart-Ganivet, J.P. y G. Horta-Puga. 1993. Arrecifes de coral en México. En: S.I. Salazar-Vallejo & N.E. González (eds.). *Biodiversidad marina y costera de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Centro de Investigaciones de Quintana Roo, México. pp. 81-92.
- Carriguirry, D.J. y G. Horta-Puga. 2010. The Ba/Ca record of corals from the Southern Gulf of Mexico: Contributions from land-use changes, fluvial discharge and oil-drilling muds. *Marine Pollution Bulletin* 60: 1625-1630.

- Chávez, A.E, W.J. J.R. Tunnell y K. Withers. 2010. Zonación y Ecología de los Arrecifes: Plataforma Veracruzana y Banco de Campeche. *En: Tunnell J.W, E.A. Chávez y K Withers (Eds.). Arrecifes Coralinos del sur del Golfo de México.* Centro interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. La Paz, Baja California Sur, México 293 p.
- Cortés, N.J. y J.M. Risk. 1985. A reef under siltation stress: Cahuita, Costa Rica. *Bulletin of Marine Science* 36(2): 339-356.
- Dallmeyer, D.G., J.W. Porter, y G.J. Smith. 1982. Effects of particulate peat on the behaviour and physiology of the Jamaican reef-building coral *Montastrea annularis*. *Marine Biology* 68: 229-233.
- Dodge, R.E., R.C. Aller y J. Thompson. 1974. Coral growth related to resuspension of bottom sediments. *Nature* 247: 574-577.
- Domínguez, P.O. 1990. El puerto de Veracruz la Modernización a finales del Siglo XIX. *Centro de Investigaciones Históricas del Instituto de Investigaciones Humanísticas de la Universidad Veracruzana.* Veracruz. Anuario VII, pp. 87-102.
- Dryer, S. y A. Logan. 1978. Holocene reefs and sediments of Castle Harbour, Bermuda. *Journal of Marine Research* 36:399-425.
- Erfteimeijer, P.L.A. Riegl, B. Hoeksema y B. W. Todd. 2012. Environmental impacts of dredging and other sediment disturbances on corals: A review. *Marine Biology* 64: 1737-1767
- Fabricius, K.E. 2005. Effects of terrestrial runoff on the ecology of corals and coral reefs: review and synthesis. *Marine Pollution Bulletin* 50: 125-146.
- Fitzpatrick, S.M. y T.J. Donaldson. 2007. Anthropogenic impacts to coral reefs in Palau, western Micronesia during the Late Holocene. *Coral Reefs* 26(4):915-930.

- Flood, V.S., J.M. Pitt y S.R. Smith. 2005. Historical and ecological analysis of coral communities in Castle Harbor (Bermuda) after more than a century of environmental perturbation. *Marine Pollution Bulletin* 51: 545–557.
- Gilmour, J. 1999. Experimental investigation into the effects of suspended sediment on fertilisation, larval survival and settlement in a scleractinian coral. *Marine Biology* 135:451-462.
- Gilmour, J.P., T.F. Cooper, K.E. Fabricius y L.D. Smith. 2006. Early warning indicators of change in the condition of corals and coral communities in response to key anthropogenic stressors in the Pilbara, Western Australia. *Australian Institute of Marine Science*, Technical report, 94 p.
- Granados, B.A., L.G. Abarca Arenas, y J.M. Vargas Hernández. 2007. *Investigaciones Científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano*. Universidad Autónoma de Campeche. 304 p.
- Groot, S. J. 1979. An Assessment of the Potential Environmental Impact of Large-Scale Sand-Dredging for the Building of Artificial Islands in the North Sea. *Ocean Management*. 5:211-232.
- Gutiérrez, D., C. García-Sáez, M. Lara y C. Padilla. 1993. Comparación de Arrecifes Coralinos: Veracruz y Quintana Roo. En: S.I. Salazar-Vallejo & N.E. González (eds.). *Biodiversidad marina y costera de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Centro de Investigaciones de Quintana Roo, México. pp. 787-806.
- Guzmán, M.H., B.C. Jeremy, W. Jackson y W. Jeremy. 1991. Short-term ecological consequences of a major oil spill on Panamanian subtidal reef corals. *Coral Reefs* 10:1-12.
- Guzmán, M.H. y I. Holst. 1993. Effects of Chronic Oil-Sediment Pollution on the Reproduction of the Caribbean Reef Coral *Siderastrea siderea*. *Marine Pollution Bulletin* 26(5):276-282.

- Haapkylä, J., F. Ramade y B. Salvat. 2007. Oil Pollution on Coral Reefs: A review of the state of Knowledge and Management needs. *Life and Environment*. 57(1/2):91-107.
- Harrison, P.L. , J. C. Collins, C. G. Alexander y B. A. Harrison. 1990. The effects of fuel oil and dispersant on the tissues of a staghorn coral *Acropora formosa*: a pilot study. Scientific Input to Oil Spill Response: Proc 2nd Nat Workshop on Role of the Scientific Support Coordinator: 51-61.
- Hodgson, G. 1999. A Global Assessment of Human Effects on Coral Reefs. *Marine Pollution Bulletin* 38(5): 345-355.
- Hoitink, A.J.F. 2003. Physics of coral reef systems in a shallow tidal embayment. Ph.D Thesis, Utrecht University. Netherlands Geographical Studies 313, Royal Dutch Geographical Society, Utrecht, 142 p.
- Horta-Puga, G. 2003. Condition of selected reef sites in the Veracruz Reef System (stony corals and algae). *Atoll Research Bulletin* 496:360-369.
- 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. 226 p.
- Horta-Puga, G. 2010. Impactos ambientales. *En*: Tunnell J.W, E.A. Chávez y K. Withers (Eds.). *Arrecifes Coralinos del sur del Golfo de México*. Centro interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. La Paz, Baja California Sur, México, pp.183-205.

- Horta-Puga(a), G., J.L. Tello-Musi, A. Morales-Aranda, J.F. Gutiérrez-Martínez. 2015. Proyecto CONABIO GM005. Sistema Arrecifal Veracruzano, condición actual y programa permanente de monitoreo: II Etapa. Reporte de las campañas de monitoreo C-10, H-11 y H-12. UNAM, FES Iztacala, UBIPRO y CONABIO. México, D.F. 130 p.
- Horta-Puga(b), G., J.L. Tello-Musi, A. Beltrán-Torres, J.P. Carricart-Ganivet, J.D. Carriquiry y J. Villaescusa-Celaya. 2015. Veracruz Reef System: a hermatypic coral community thriving in a sedimentary terrigenous environment. *En: Granados-Barba, A., L. D. Ortiz-Lozano, D. Salas-Monreal y C. González-Gándara (eds.). Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México.* Universidad Autónoma de Campeche. pp.181-207.
- Hubbard, J.A.E.B. y Y.P. Pocock. 1972. Sediment rejection by recent scleractinian corals: a key to palaeo-environmental reconstruction. *Geologische Rundschau* 61: 598-626.
- Hughes, T.P., A.H. Bair, D.R. Bellwood, M. Card, S.R. Connolly, C. Folke, R. Grosbers, O. Hoegh-Gulberg, J.P.C. Jackson, J. Kleypas, J.M. Cough, P. Marshall, M. Nystrom, S.P. Palomi, J.M. Pandolfi, B. Rosen y J. Roughgarden. 2003. Climate Change, Human Impacts, and the Resilience of Coral Reefs. *Science* 31: 929-933.
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED). 2015. Enciclopedia de Los Municipios y Delegaciones de México. Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM30veracruz/historia.html> [Consultado: 2 agosto 2015].
- Johannes, R.E. 1975. Pollution and degradation of coral reef communities. *En: Wood, E. J F., Johannes, R. E. (Eds.) Tropical marine pollution. Elsevier Scientific Publishing Company.* Oxford. pp:1-181.

- Jokiel, P.L., K.S. Rodgers y C.D. Storlazzi, CD, M.E. Field, C.V. Lager, D. Lager. 2014. Response of reef corals on a fringing reef flat to elevated suspended-sediment concentrations: Molokai, Hawai'i. *PeerJ* 2:699.
- Jones, R., G. F. Ricardo y A.P. Negri. 2015. Effects of sediments on the reproductive cycle of corals. *Marine Pollution Bulletin* 100:13-33.
- Knap, A.H., T.D. Sleeter, R.E. Dodge, S.C. Wyers, H.R. Frith y S.R. Smith. 1983. The effects of oil spills and dispersant use on corals. *Oil Petrochem Pollut* 1: 157-169.
- Kühlmann, D.H.H. 1988. The sensitivity of coral reefs to environmental pollution. *Ambio* 17(1):13-21.
- Lane, A. y P.L Harrison. 2000. Effects of oil contaminants on survivorship of larvae of the scleractinian reef corals *Acropora tenuis*, *Goniastrea aspera* and *Platygera sinensis* from the Great Barrier Reef. Proceedings 9th International Coral Reef Symposium, Bali, Indonesia 23–27.
- Larcombe, P., A Costen y K.J.Woolfe. 2001. The hydrodynamic and sedimentary setting of nearshore coral reefs, central Great Barrier Reef shelf, Australia: Paluma Shoals, a case study. *Sedimentology* 48:811-835.
- Lasker, H.R. 1980. Sediment Rejection by Reef Corals: The Roles of Behavior and Morphology in *Montastraea cavernosa* (Linnaeus). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 47: 77-87.
- Loya, Y. 1975. Possible effects of water pollution on the community structure of red sea corals. *Marine Biology* 29:177-185.
- Loya, Y. 1976. Recolonization of Red Sea Corals Affected by Natural Catastrophes and Man-Made Perturbations. *Ecology*. 57(2):278-289.
- Loya, Y. y B. Rinkevich. 1979. Abortion Effect in Corals Induced by Oil Pollution. *Marine Ecology Progress Series* 1:77-80.

- Loya, Y. y B. Rinkevich. 1980. Effects of Oil Pollution on Coral Reef Communities. *Marine Ecology Progress Series* 3:167-180.
- McCay, F.D., J.J. Rowe, N. Whittier, S. Sankaranarayanan y S. D. Etkin. 2004. Estimation of potencial impacts and natural resource damages of oil. *Journal of Hazardous Materials* 107:11-25.
- McCulloch, M., S. Fallon, T. Wyndham, E. Hendy, J. Lough y D. Barnes. 2003. Coral record of increased sediment flux to the inner Great Barrier Reef since European settlement. *Nature* 421:727-730.
- Meesters, E.H., A. Bos y G.J. Gast. 1992. Effects of sedimentation and lesion position on coral tissue regeneration. *En: Proceedings Seventh International Coral Reef Symposium, Guam*. 2:671-678.
- 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* 46: 314-323.
- Nystrom, M., C. Folke y F. Moberg. 2000. Coral reef disturbance and resilience in a human-dominated environment. *Trends in Ecology & Evolution* 15: 413-417.
- Ortiz-Lozano, L., V. Valadez-Rocha y S. Hayasaka-Ramírez. 2015. Influencia histórica de la ciudad y puerto de Veracruz obre el Sistema Arrecifal Veracruzano. *En: Granados-Barba, A., L. D. Ortiz-Lozano, D. Salas-Monreal y C. González-Gándara (eds.). Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México*. Universidad Autónoma de Campeche. pp.1-17.
- Pérez, España, H. y J.M. Vargas Hernández. 2008. *Caracterización ecológica y monitoreo del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano: Primera Etapa*. Universidad Veracruzana. Centro de Ecología y Pesquerías Hoja de cálculo SNIB-CONABIO proyecto No. DM002. México D. F.

- Peters, E.C., P.A. Meyers, P.P. Yevich y N.J. Blake. 1981. Bioaccumulation and histopathological effects of oil on a stony coral. *Marine Pollution Bulletin* 12(10): 333-339.
- Restrepo, D.J., E. Park, S. Aquino y E.M Latrubesse. 2016. Coral reefs chronically exposed to river sediment plumes in the southwestern Caribbean: Rosario Islands, Colombia. *Science of the Total Environment* 553:316-329.
- Riegl, B. 1995. Effects of sand deposition on scleractinian and alcyonacean corals. *Marine Biology* 121:517-526.
- Riegl, B. y G.M. Branch. 1995. Effects of sediment on the energy budgets of four scleractinian (Bourne 1900) and five alcyonacean (Lamouroux 1816) corals. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 186:259-275.
- Rice, S.A. y Hunter L.C. 1992. Effects of suspended sediment and burial on Scleractinian Corals from West Central Florida Patch Reefs. *Bulletin of Marine Science*.51(3): 429-442.
- Rocha, R.A., R.L. Chávez, A.R. Ramírez, S. O. Cházaro. 2012. *Comunidades Métodos de estudio*. Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico D.F. 248 p.
- Rogers, C.S. 1977. The response of a coral reef to sedimentation. PhD Thesis, University of Florida, Gainesville, 195 pp.
- Rogers C. S. 1979. The effect of shading on coral reef structure and function. *Journal of Experimental Marina Biology and Ecology* 41: 269-288.
- Rogers C.S. 1990. Responses of coral reefs and reef organisms to sedimentation. *Marine Ecology Progress Series* 62:185-202.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). Administración Portuaria Integral de Veracruz S.A. de C.V. (API). 2011. *Plan maestro de desarrollo portuario de Veracruz 2011–2016*. México.

- Stafford-Smith, M.G. 1993. Sediment-rejection efficiency of 22 species of Australian scleractinian corals. *Marine Biology* 115:229-243.
- Storlazzi, D.C., K.B. Norris y J.K. Rosenberg. 2015. The influence of grain size, grain color, and suspended-sediment concentration on light attenuation: Why fine-grained terrestrial sediment is bad for coral reef ecosystems. *Coral Reefs* 34:967-975.
- The World Association for Waterborne Transport Infrastructure (PIANC). 2010. *Dredging and Port Construction around Coral Reefs*. The World Association for Waterborne Transport Infrastructure, Environmental Commission. Report No. 108. 75 p.
- Thompson, J.H.Jr. 1980. Effects of drilling mud on seven species of reef-building corals as measured in field and laboratory, *En: Geyer, R.A. (Ed.). Marine Environmental Pollution* pp.433-454.
- Thompson, Jr.J.H. y T.J Bright. 1980. Effects of an offshore drilling fluid on selected corals. *En: Proc. Research on Environmental fate and Effects of Drilling Fluids and Cuttings, Lake Buena Vista. 2:1044-1076.*
- Torres, J.L. 1998. *Effects of sediment influx on the growth rates of Montastraea annularis (Ellis and Solander) in southwest, Puerto Rico*. MSc Thesis. University of Puerto Rico, Mayaguez, 134pp.
- Torres, J.L. y J . Morelock. 2002. Effect of Terrigenous Sediment Influx on Coral Cover and Linear Extension Rates of Three Caribbean Massive Coral Species. *Caribbean Journal of Science* 38(3-4):222–229.
- Tunnell, W. J., A. E. Chávez y K. Withers. 2010. *Arrecifes Coralinos del sur del Golfo de México*. Centro interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. La Paz, Baja California Sur, México. 293 p.

- Valadez-Rocha, V., L. Ortiz-Lozano. 2013. Spatial and Temporal Effects of Port Facilities Expansion on the Surface Area of Shallow Coral Reefs. *Environmental Management* 52(1): 250-260.
- Villanueva, R.D., H.T. Yap y M.N.E. Montano. 2011. Reproductive effects of the water-accommodated fraction of a natural gas condensate in the Indo-Pacific reef-building coral *Pocillopora damicornis*. *Ecotoxicology Environmental Safety* 74: 2268–2274.
- White, M.L. y K.B. Strychar. 2011. Coral as environmental bioindicators: ecological and morphological effects of gasoline on Gorgonian corals, *Leptogorgia virgulata*. *International Journal of Biology* 3: 63–73.
- World Port Source (WPS). 2015. <http://www.worldportsource.com/ports/region.5.php> [Consultado: 4 agosto 20015].
- Wyers, S.C., H.R. Frith, R.E. Dodge, S.R. Smith, A.H. Knap y T.D. Sleeter. 1986. Behavioural effects of chemically dispersed oil and subsequent recovery in *Diploria strigosa* (Dana). *P.S.Z.N.I. Marine Ecology* 7: 23-42.