



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
IZTACALA

“Variabilidad espacio-temporal en la comunidad de
macroinvertebrados sésiles no coralinos en el
Sistema Arrecifal Veracruzano”

TESIS

Que para obtener el título de

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

Diana González Patiño

DIRECTOR:

Dr. Guillermo Javier Horta Puga

Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Edo. de México, 2017





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.

*Todo el mundo es un genio.
Pero si juzgas a un pez por su habilidad para trepar árboles,
vivirá toda su vida pensando que es un inútil.
Anónimo.*

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quiero agradecer a la Universidad Nacional Autónoma de México por haberme dado una educación invaluable y a sus profesores que dejaron una huella en mi formación. También quiero agradecerle por haberme financiado una beca estudiantil a la UNAM-San Antonio, Texas.

Al Dr. Guillermo Horta Puga por aceptar dirigir mi trabajo de tesis, por guíame con sus comentarios, y aunque siempre estaba ocupado también dedicaba tiempo para mí, por inculcar en mí la formación científica, además de proporcionarme los datos para la realización de esta tesis, a partir del Proyecto CONABIO GM005.

A mis sinodales Dr. Rafael Cabral, Biól. José Luis Tello, M. en C. Aura Aletse y Biól. Felipe Cruz que con sus comentarios y observaciones enriquecieron mi tesis.

A mis padres por darme su apoyo incondicional, por darme un buen ejemplo a seguir y por siempre alentarme cuando no tengo fuerzas para continuar, doy gracias también por todos los sacrificios y esfuerzos que hicieron y harán por mí, porque sé que mi carrera no fue la más barata y que algunas veces, principalmente mi papá tuvo que vérselas difícil para pagar algunas prácticas de campo, materiales de la escuela o pasajes. Estoy consciente de todo lo anterior y para ellos principalmente dedico esta tesis.

A mis hermanos Belén y David, que aunque algunas veces fueron duros conmigo eso me ayudó mucho para formarme como persona y a causa de sus exigencias me hicieron una mejor estudiante.

A mis tías Imelda y Virginia y a mi tío Fernando que siempre estuvieron al pendiente de mi educación, y al gran apoyo que mi abuelita Petra me brindo ofreciéndome hospedaje mientras terminaba mis estudios.

También quiero agradecer a mis amigas: Daisy Juárez y Victoria Díaz, por siempre apoyarme cuando más lo necesitaba, por tenerme paciencia, aceptarme tal como soy y por estar en mis éxitos y fracasos. Quiero agradecer principalmente a Victoria por sus constantes revisiones a mi tesis, además de ayudarme siempre con mis estudios.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	5
OBJETIVOS	10
MATERIALES Y MÉTODOS	12
Área de estudio.....	12
Estrategia de muestreo.....	16
Trabajo de gabinete.....	18
Análisis estadísticos.....	21
RESULTADOS	23
Análisis temporal.....	23
Análisis espacial.....	26
Análisis general de los datos (promediando ambas temporadas).....	27
DISCUSIÓN	33
Análisis temporal.....	33
Análisis espacial.....	33
Grupos de macroinvertebrados.....	35
Análisis general de los datos (promediando ambas temporadas).....	37
CONCLUSIONES	39
LITERATURA CITADA	40
ANEXOS	48

INTRODUCCIÓN

Los arrecifes de coral se consideran las estructuras biológicas más grandes de la Tierra, caracterizados por presentar la mayor biodiversidad y productividad de todos los ecosistemas marinos, este tipo de ecosistemas se encuentran ampliamente extendidos en aguas cálidas someras (Hughes *et al.*, 1991; Odum y Sarmiento, 2001 y Whithers y Tunnell Jr., 2010). El elemento principal de estos ecosistemas son los corales hermatípicos, los cuales forman una compleja estructura tridimensional que proporciona una gran variedad de hábitats que permite el establecimiento de diferentes organismos (Groombridge, 1992).

En los últimos años, los arrecifes de coral se han visto amenazados tanto por fenómenos naturales como antropogénicos (Horta-Puga, 2010). Los fenómenos naturales que afectan a los arrecifes de coral son: huracanes, tormentas tropicales, frentes fríos invernales, oleaje, la cercanía a los ríos (sedimentación y disminución de salinidad), cambio climático, blanqueamiento y enfermedades coralinas; mientras que los fenómenos antropogénicos son: la sobrepesca, la pesca con explosivos, la contaminación química, los encallamientos de embarcaciones y otras actividades turísticas como el buceo recreativo (Garzón-Ferreira y Díaz, 2003 y Horta-Puga, 2010). Por lo anterior, el elemento predominante de estos ecosistemas marinos: el coral, se ha visto perjudicado ocasionando la pérdida de cobertura coralina con el paso del tiempo (Chadwick y Morrow, 2011), como se puede observar en dos islas vírgenes de Estados Unidos (St John y St Croix) que en los últimos años han disminuido casi el 51.5% de su cobertura coralina (Miller *et al.*, 2009); otro caso es la pérdida de la cobertura coralina de la Gran Barrera Arrecifal de Australia, la cual ha declinado del 28% al 13.8% en los últimos 27 años (De'ath *et al.*, 2012). Asimismo, se ha visto un declive masivo de corales en toda la región de la cuenca del Caribe pasando del 50% al 10% de cobertura coralina en tres décadas (Gardner *et al.*, 2003). Igualmente, se ha presentado este hecho en los arrecifes de coral del Golfo de México (GM), tal es el caso de los arrecifes del Sistema Arrecifal Veracruzano

(SAV), que por su localización geográfica, frente al Puerto de Veracruz, el impacto de las actividades humanas en el SAV ha sido de tal magnitud, que el grado de perturbación en el área se considera muy alto, teniendo como consecuencia una cobertura coralina del 19% para el 2009 y del 27.3% en el 2015 (Horta-Puga y Tello-Musi, 2009 y Horta-Puga *et al.*, 2015).

La disminución de la abundancia, tamaño y cobertura de los arrecifes de coral en todo el mundo ha dejado grandes áreas de coral muerto y sustrato arrecifal disponible, el cual puede ser potencialmente ocupado por otros organismos como distintos gremios algales o diferentes grupos de macroinvertebrados sésiles (Gardner *et al.*, 2003 y Chadwick y Morrow, 2011). Entre los grupos de macroinvertebrados sésiles no coralinos que podemos encontrar están las esponjas, octocorales, anémonas, poliquetos, briozoos, crustáceos, ascidias, entre otros (Zea, 1994; Aerts y Van Soest, 1997; Oscoz *et al.*, 2009 y Chadwick y Morrow, 2011).

Los macroinvertebrados en sentido amplio se definen como aquellos invertebrados suficientemente grandes que pueden observarse sin lentes de aumento con tamaños superiores a 500 mm (Oscoz *et al.*, 2011). Dentro de los indicadores biológicos, los macroinvertebrados sésiles son uno de los grupos de organismos más empleados, puesto que tienen una serie de ventajas como bioindicadores que pueden resumirse de la siguiente manera: 1) al ser organismos sésiles reflejan las características locales del área muestreada; 2) generalmente tienen ciclos de vida suficientemente largos y por lo tanto sus características son el resultado de un pasado relativamente reciente; y 3) tienen distintos grados de sensibilidad a diferentes contaminantes, reaccionando rápidamente con respuestas graduales (Oscoz *et al.*, 2011). También hay que tener en cuenta que existen macroinvertebrados sésiles que pueden ser perjudiciales para los arrecifes de coral como las especies del género *Cliona* (Hein y Risk, 1975), las cuales llegan a dañar las construcciones arrecifales (Schönberg y Wilkinson, 2001). El sobrecrecimiento de algunas especies, principalmente esponjas, puede llegar a

quitar el espacio para el asentamiento de otros organismos sésiles formadores de arrecifes de coral como zoantídeos coloniales, octocorales, hidrozoos, poliquetos, tunicados, equinodermos y crustáceos sésiles, etcétera (Russ, 1982; López-Victoria *et al.*, 2006 y Glynn y Enochs, 2010), generándose así una competencia por el sustrato arrecifal entre los macroinvertebrados sésiles no coralinos (Nandakumar, 1995).

La competencia, es la interacción biológica más frecuente, estableciéndose cuando organismos de distinta especie (competencia interespecífica) o de la misma especie (competencia intraspecífica) utilizan el mismo recurso ecológico (ej. espacio, alimento, refugio, etc.) (Campos-Bedolla *et al.*, 2002). En invertebrados marinos sésiles que viven en sustratos duros, el espacio donde puedan establecerse ha sido considerado el recurso limitante más importante en ambientes marinos (Jackson y Buss, 1975; Russ, 1982 y Nandakumar, 1995). La competencia por el sustrato puede, bajo una variedad de circunstancias, actuar como determinante importante en la distribución y abundancia de los organismos (Nandakumar, 1995).

Recientemente, se han realizado dos estudios en el SAV, donde se buscó cuantificar la cobertura de las comunidades sésiles que ocupaban el sustrato arrecifal, teniendo que para el 2009 las áreas no cubiertas por corales vivos se encontraban ocupadas por diferentes gremios algales con el 69.4% e invertebrados diversos (esponjas, anémonas, corales córneos, briozoos, etc.) 11.3% (Horta-Puga y Tello-Musi, 2009). Por otra parte, un estudio más reciente mostró que el 73% del sustrato arrecifal esta, preferentemente, ocupado por gremios algales, mientras que el 9.2% está ocupado por invertebrados diversos (Horta-Puga *et al.*, 2015). Con lo anterior, se puede observar que la cobertura de macroinvertebrados ha disminuido del 11.3% al 9.2% a lo largo del tiempo (2006-2014); sin embargo, los cambios de cobertura no son estadísticamente significativos (Horta-Puga y Tello-Musi, 2009 y Horta-Puga *et al.*, 2015).

Aunque la literatura de cobertura de macroinvertebrados sésiles no coralinos es escasa, en algunos estudios se ha encontrado que tanto las esponjas como octocorales presentan las mayores coberturas en arrecifes de coral, llegando a sobrepasar coberturas porcentuales del 50% (Tunnell y Nelson, 1989; Díaz y Rützler, 2001 y Fabricius y De'ath, 2008). Asimismo, se han visto coberturas promedio de ascidias de hasta el 27% (Shenkar *et al.*, 2008).

Para hacer un mejor análisis de las comunidades arrecifales, se puede hacer uso de las escalas. Las escalas se definen como las dimensiones espaciales o temporales utilizadas para medir y estudiar cualquier fenómeno (Gibson *et al.*, 2000). Las escalas espaciales se pueden medir desde un metro hasta cientos de kilómetros cuadrados o más, mientras que las escalas temporales se pueden medir a través de un día, una semana, un año, una década, un siglo, un milenio o muchos milenios (Gibson *et al.*, 2000). El uso de las escalas hace fácil detectar e interpretar los patrones y procesos ecológicos (Cueto, 2006). La mayoría de los ecosistemas muestran variabilidad que difiere dependiendo de las escalas espaciales y temporales de observación (Murdoch y Aronson, 1999).

El conocimiento de las escalas espaciales y temporales donde se hayan estudiado las comunidades de organismos arrecifales no coralinos es limitado. Sin embargo, un estudio realizado por Zamorano (2005) muestra que en escalas temporales pequeñas (temporadas), los equinodermos presentan una mayor abundancia en la temporada de lluvias, aumentando más en los meses con mayor turbidez; mientras que a escalas temporales mayores (años), los equinodermos presentaron mayor diversidad en 1994-1995 comparado con el muestreo realizado en 2002-2003, viéndose afectados y beneficiados algunos grupos de equinodermos por los constantes dragados en el arrecife de coral de La Entrega, lo que provocó un incremento del material suspendido y la disponibilidad de alimento favoreciendo al establecimiento de los pepinos de mar, mientras que los ofiuroideos, por ser organismos que viven en oquedades o debajo de los arrecifes, se vieron afectados al perder sus refugios naturales.

Existen más trabajos donde estudian las variaciones espaciales y temporales en comunidades coralinas. Un ejemplo de una variabilidad a escala espacial es lo encontrado por Murdoch y Aronson (1999) donde observan que pueden llegar a verse diferencias espaciales en la cobertura coralina entre un conjunto de arrecifes de coral (los arrecifes de la Florida, Estados Unidos), encontrando las mayores coberturas en los arrecifes más alejados de la bahía como resultado de su aislamiento de fuentes naturales y antropogénicas, las cuales presentan características que afectan e inhiben el crecimiento y la supervivencia de los corales, incluyendo extrema variabilidad en temperatura y salinidad, así como altas cargas de nutrientes y sedimentos. Por otra parte, las escalas temporales también tienen fuertes repercusiones en las comunidades arrecifales, como lo encontrado por Dustan y Halas (1987) en el arrecife de Carysfort entre 1975 a 1982, donde la comunidad coralina con el transcurso de los años disminuyó su diversidad y tamaño medio de las colonias, como resultado de la acumulación de daños por alteraciones físicas (daño de anclas y embarcaciones, provocando fragmentaciones), sedimentación, enfermedades, efectos de tormentas e impacto urbano. Del mismo modo se han visto declines en las coberturas coralinas a través del tiempo, lo cual ya se mencionó con anterioridad (Gardner *et al.*, 2003; Horta-Puga y Tello-Musi, 2009; Miller *et al.*, 2009; Chadwick y Morrow, 2011; De'ath *et al.*, 2012 y Horta-Puga *et al.*, 2015).

Lo ideal, es que un arrecife de coral presente una alta cobertura coralina como lo encontrado en el arrecife Hall Bank en la Gran Barrera Arrecifal Australiana que llega a alcanzar el 72.5% cobertura coralina (Thomson y Frisch, 2010); sin embargo, actualmente muchos arrecifes no cumplen con lo anterior, como es el caso del SAV que solo presenta el 27.3% de la superficie cubierta por coral vivo, dejando un área libre de coral del 72.7% (Horta-Puga *et al.*, 2015). Aunque se sabe que del 72.7%, el 73% está cubierto por diferentes gremios algales (filamentosas 44.7%, algas calcáreas 20.2% y macroalgas 8.1%), aún no se ha cuantificado la cobertura de los diferentes grupos de macroinvertebrados sésiles no coralinos que potencialmente pueden ocupar el sustrato arrecifal.

Por lo anterior, se plantearon las siguientes preguntas de investigación: 1) ¿Cuál es la cobertura de cada grupo de macroinvertebrados sésiles no coralinos en 10 arrecifes del SAV (Anegada de Afuera, Blanca, Cabezo, Chopas, Isla de Enmedio, Galleguilla, Hornos, Isla de Sacrificios, Isla Verde y Pájaros)?; 2) ¿Existe una variación entre la temporada de lluvias y secas en la comunidad de macroinvertebrados sésiles?; 3) ¿Existe algún patrón de distribución espacial discernible? A lo cual se esperaría encontrar mayores coberturas de especies eurióicas filtradoras como esponjas, dado que el SAV es considerado un ecosistema impactado principalmente por actividades antropogénicas (Horta-Puga y Tello-Musi, 2009). Asimismo, se esperaría encontrar mayor cobertura de macroinvertebrados en temporada de lluvias comparado con la temporada de secas, ya que existe mayor aporte continental de nutrientes, materia orgánica y alimento (Torres-Alvarado y Calva-Benítez, 2012). Y, finalmente, a causa de que los arrecifes más cercanos a la costa presentan mayor influencia humana, mayor aporte fluvial y por ende más cantidad de nutrientes (Horta-Puga y Tello-Musi, 2009), se esperaría tener mayor cobertura de macroinvertebrados en los arrecifes cercanos a la costa comparada con los alejados.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar si existe un patrón espacio-temporal en la comunidad de macroinvertebrados sésiles no coralinos en 10 arrecifes del SAV (Anegada de Afuera, Blanca, Cabezo, Chopas, Isla de Enmedio, Galleguilla, Hornos, Isla de Sacrificios, Isla Verde y Pájaros) con base a sus coberturas.

Objetivos particulares

1. Cuantificar la cobertura de cada grupo de macroinvertebrados sésiles no coralinos en 10 arrecifes del SAV.

2. Determinar si existe una variación en la cobertura de la comunidad de macroinvertebrados sésiles en la temporada de lluvias y secas.
3. Determinar si existe un patrón de distribución espacial discernible en la comunidad de macroinvertebrados sésiles.
4. Identificar al nivel taxonómico más bajo posible los macroinvertebrados sésiles presentes en las áreas no cubiertas por coral vivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) es un complejo arrecifal situado frente al Puerto de Veracruz y al poblado de Antón Lizardo en el sur del Golfo de México (GM). El SAV se encuentra dividido en dos grupos por causa de la desembocadura del Río Jamapa-Atoyac. El primer grupo, o grupo norte (GN), incluye arrecifes relativamente pequeños cercanos a la costa, ubicados frente a las costas de la ciudad de Veracruz; el segundo grupo, o grupo sur (GS), comprende arrecifes de mayor tamaño en su mayoría, mismos que se ubican más alejados de la costa, este grupo arrecifal se encuentra ubicado frente a la costa del pueblo pesquero Antón Lizardo (Tunnell Jr., 2010, Horta-Puga y Tello Musi, 2009 y Carricart-Ganivet y Horta-Puga, 1993).

La mayoría de los arrecifes que se encuentran en el SAV, son de tipo plataforma, estos se caracterizan por elevarse del piso marino de profundidades máximas de 40 m, presentando un crecimiento coralino activo desde los 25-27 m hasta la superficie. Estos arrecifes presentan un talud arrecifal en todas direcciones, y su eje mayor está orientado en dirección NO-SE, presentando, en algunos casos, una porción emergida o cayó en la zona SE. Estos arrecifes se dividen en 4 zonas geomorfológicas: (1) Talud de barlovento o arrecife frontal, situado hacia mar abierto, caracterizado por un crecimiento más activo y mayor cobertura coralina; (2) Cresta arrecifal o zona de bloques, se localiza hacia el margen E del arrecife, es una zona de máxima energía debido a que el oleaje rompe en esta zona, por lo anterior, esta zona está constituida básicamente por bloques de coral muerto provocando un crecimiento coralino muy restringido; (3) Planicie arrecifal (Plataforma o laguna arrecifal), representa la parte superior del arrecife, donde se localizan comunidades someras dispersas de corales, y otras especies, la profundidad fluctúa entre 0.5-2.0 m, las aguas son claras con escaso movimiento; y (4) Talud de sotavento o arrecife posterior, se localiza hacia el O, esta zona se distingue debido al crecimiento coralino activo, aproximadamente hasta los 20 m

de profundidad, generalmente con menor cobertura pero mayor diversidad coralina que el talud frontal, aguas con poco movimiento y mucho material sólido en suspensión (Horta-Puga y Tello-Musi, 2009).

El clima general donde se desarrolla el SAV es subtropical a tropical, con una temperatura anual entre 26° y 28°C. El SAV presenta una temporada lluviosa y seca; la temporada lluviosa se extiende de junio a octubre y alcanza el nivel máximo en septiembre con 104.2 mm mes⁻¹. La primavera es la temporada de secas, siendo abril el mes más seco, con una precipitación promedio de 12.8 mm mes⁻¹ (Carricart-Ganivet y Horta-Puga, 1993 y Carrillo *et al.*, 2010).

Con el fin de desarrollar el presente proyecto, se eligieron cinco arrecifes de cada grupo, utilizando como criterios de selección: (1) aquellos para los cuales ya se cuenta con información sobre la comunidad coralina; (2) el grado de perturbación, considerando que los arrecifes más cercanos a la costa, son los más susceptibles a estar impactados, y los más lejanos se encuentran poco o moderadamente perturbados; (3) la presencia de una fuente potencial de impacto; y (4) que estuviera representado homogéneamente el SAV (Horta-Puga y Tello-Musi, 2009).

A continuación se presenta una breve descripción de los arrecifes tomados en cuenta durante el estudio.

Grupo norte (GN)

Hornos (HO)

Arrecife de tipo costero, se localiza a los 19°11'29" N y 96°07'19" O, abarca un 1 km de costa y su parte más ancha mide 250 m. Arrecife situado justo frente a la ciudad, afectado directamente por la descarga de efluentes pluviales, tráfico de embarcaciones menores y turismo. Arrecife altamente perturbado por actividades humanas (Carricart-Ganivet y Horta-Puga, 1993 y Horta-Puga y Tello-Musi, 2009).

Galleguilla (GL)

Arrecife de tipo plataforma, localizado a los 19°13'53" N y 96°07'37" O a 2 km de la costa. Mide 1 km en su eje más largo con 1 km de ancho. Las laderas de sotavento están pobremente desarrolladas y presentan corales sólo en los extremos someros y profundos. Arrecife localizado cerca de la descarga de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad, y de las instalaciones portuarias. Arrecife altamente perturbado por actividades humanas (Carricart-Ganivet y Horta-Puga, 1993, Horta-Puga y Tello-Musi, 2009 y Tunnell Jr., 2010).

Isla Verde (IV)

Se localiza a 5.4 km de la costa veracruzana, a los 19°11'50" N y 96°04'06" O; su eje más largo es en dirección NO-SE con 1.1 km y su parte más ancha mide 750 m, en su extremo sur presenta un cayo conocido como Isla Verde. Arrecife moderadamente impactado principalmente por la actividad pesquera y turística, viéndose también afectado por el anclaje de embarcaciones menores (Carricart-Ganivet y Horta-Puga, 1993 y Horta-Puga y Tello-Musi, 2009).

Pájaros (PJ)

Arrecife de tipo plataforma, localizado a los 19°10'50" N y 96°05'43" O a 2.6 km de la costa. Su eje más largo es en dirección NO-SE con 1.9 km y su parte más ancha mide 750 m. Presenta un pequeño cayo que emerge durante la bajamar conocido con el nombre de Cancuncito. Arrecife moderadamente impactado por la actividad turística y el anclaje de embarcaciones menores (Carricart-Ganivet y Horta-Puga, 1993 y Horta-Puga y Tello-Musi, 2009).

Isla Sacrificios (IS)

Arrecife de tipo plataforma ubicado a 19°10'26" N y 96°05'32" O. Mide 1 km en su eje más largo con 500 m de ancho. Arrecife alargado elipsoidalmente con su eje mayor orientado en dirección NO-SE. En su extremo sur presenta un cayo conocido por los lugareños como Isla Sacrificios. Localizado a 2.4 km de la playa turística Costa Verde, en el municipio de Boca del Río. Arrecife poco impactado

por actividades humanas (Carricart-Ganivet y Horta-Puga, 1993 y Horta-Puga y Tello-Musi, 2009).

Grupo sur (GS)

Blanca (BL)

Arrecife de tipo plataforma, localizado a los 19°05'06" N y 96°59'57" O a 2.6 km de la costa, su eje más largo es en dirección NO-SE con 875 m de largo y su parte más ancha mide 500 m, no presenta porción emergida. Arrecife impactado por la descarga de los ríos y por actividad pesquera (Carricart-Ganivet y Horta-Puga, 1993 y Horta-Puga y Tello-Musi, 2009).

Chopas (CH)

Arrecife de tipo plataforma localizado en 19°04'37" N y 95°57'15" O a 3.2 km de la costa; su eje más largo es en dirección NO-SE con 5 km y la parte más ancha mide 1.6 km. Arrecife impactado por la descarga de los ríos y por actividad pesquera (Carricart-Ganivet y Horta-Puga, 1993 y Horta-Puga y Tello-Musi, 2009).

Isla de Enmedio (IE)

Arrecife de tipo plataforma, localizado a los 19°16'00" N y 96°56'19" O a 6.3 km de la costa más cercana; su eje más largo es en dirección NO-SE con 2.3 km y su parte más ancha mide 1.8 km. Arrecife considerado poco o moderadamente perturbado por actividades humanas (Carricart-Ganivet y Horta-Puga, 1993 y Horta-Puga y Tello-Musi, 2009).

Cabezo (CA)

Es un arrecife de tipo plataforma y localizado a los 19°03'11" N y 94°48'15" O a 15.2 km de la costa; su eje más largo tiene una longitud de 6.2 km. Cabezo es considerado el arrecife de mayor tamaño del grupo sur. Presentándose poco o moderadamente perturbado por actividades humanas como las actividades pesqueras y el buceo recreativo (Carricart-Ganivet y Horta-Puga, 1993 y Horta-Puga y Tello-Musi, 2009 y Tunnell Jr., 2010).

Anegada de Afuera (AF)

Arrecife de tipo plataforma, se localiza a los 19°10'14" N y 95°52'14" O a 16.3 km de la costa; su eje más largo es en dirección NO-SE con 4.4 km y su parte más ancha mide 1.3 km. Presenta un buen desarrollo coralino tanto a sotavento como a barlovento. Arrecife impactado por actividad pesquera y el buceo recreativo, presentándose poco o moderadamente perturbado (Carricart-Ganivet y Horta-Puga, 1993 y Horta-Puga y Tello-Musi, 2009).

Estrategia de muestreo

Este trabajo deriva del proyecto CONABIO GM005 segunda etapa titulado "Sistema Arrecifal Veracruzano: condición actual y programa permanente de monitoreo" a cargo del Dr. Guillermo Horta Puga y el Biól. José Luis Tello Musi, el cual ha generado datos desde el 2009 y hasta el 2015. Las campañas de muestreo que se utilizaron para este estudio fueron la correspondiente a la época de secas en marzo del 2015 (C11), y la correspondiente a la temporada de lluvias en septiembre del 2015 (C12) (Tabla 1). El muestreo incluyó 10 arrecifes del SAV, 5 del grupo norte (GL, HO, IV, IS y PJ) y 5 del grupo sur (BL, CH, IE, CA y AF) (Figura 1). En cada arrecife sólo se muestreo el talud de sotavento a una profundidad de 9 a 12 m, debido a que es la profundidad con mayor diversidad y cobertura coralina en el SAV (Horta-Puga, 2003); sin embargo, en los arrecifes BL, CH y HO se tuvo que realizar el muestreo en el talud de barlovento debido a la ausencia del talud de sotavento.

Tabla 1. Fechas de muestreo de las campañas

Campaña	Fecha de muestreo
Temporada de secas	18-26 marzo 2015
Temporada de lluvias	18-26 septiembre 2015

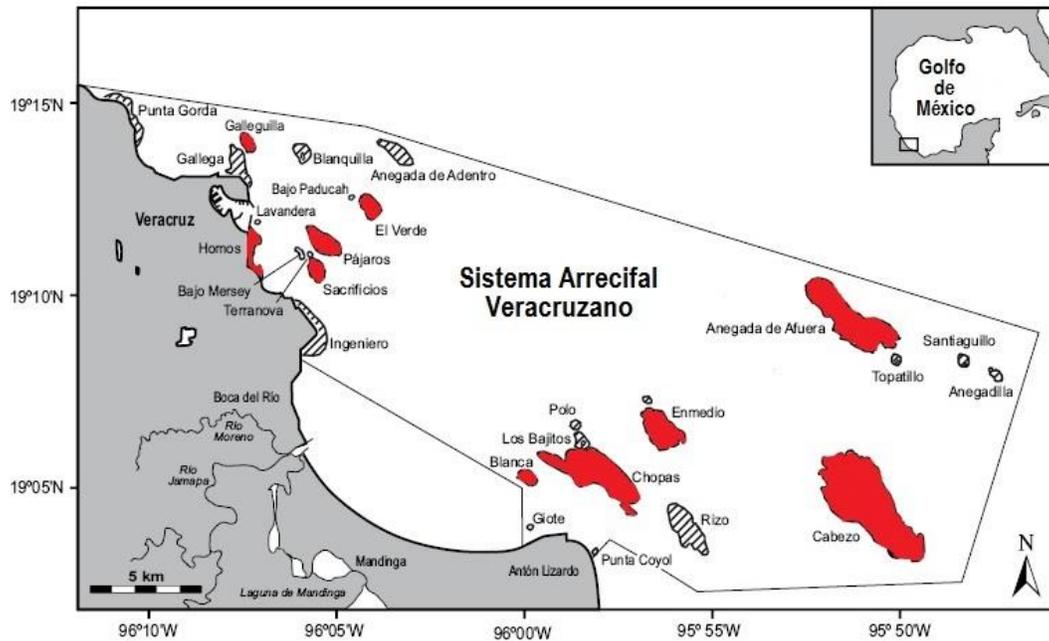


Figura 1. Mapa del Sistema Arrecifal Veracruzano donde se muestra en color rojo los arrecifes muestreados. Modificado de: Robinson *et al.*, 2012.

En cada punto de muestreo se tomaron imágenes digitales (fotocuadrantes) delimitadas por un cuadrante construido con tubo PVC de 25x25 cm equivalente a un área de 625 cm². Los cuadrantes se colocaron en los sustratos libres de coral vivo, excluyendo a macroinvertebrados mayores a 25 cm (Figura 2). Se obtuvieron 120 fotocuadrantes por arrecife (lo que corresponde a un área total aproximada de 7.5 m²), dando un total de 1,200 imágenes analizadas por campaña (75 m²) (Tabla 2).



Figura 2. Buzo tomando un fotocadrante utilizando la estructura de PVC.

Tabla 2. Número de fotocuadrantes tomados por arrecife y temporada.

Grupo arrecifal	Arrecifes	Fotocuadrantes	
GN (Grupo Norte)	HO, PJ, GL, IV e IS	120 por arrecife (7.5 m ²)	1 200 por temporada (75 m ²)
GS (Grupo Sur)	BL, CA, CH, AF e IE		

Trabajo de gabinete

En cada imagen se realizó una estimación visual (en la pantalla de una computadora), donde se determinó la cobertura en unidades porcentuales de cada grupo de macroinvertebrado sésil no coralino. A continuación se presentan algunos ejemplos de cómo se determinaron las coberturas de los grupos de macroinvertebrados para cada fotocuadrante.

En la Figura 3 como se puede observar las esponjas cubren casi el 55% del fotocuadrante.

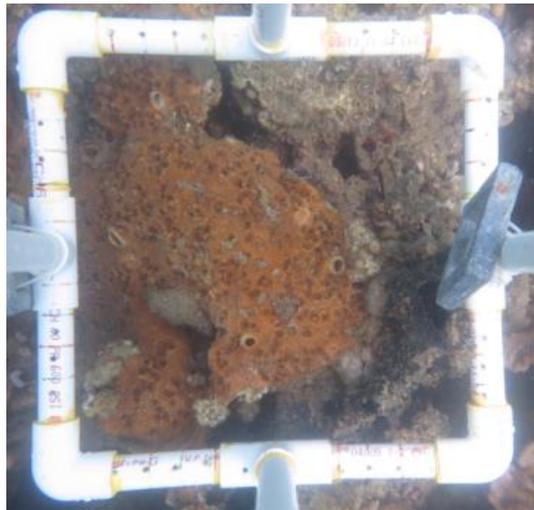


Figura 3. Fotocuadrante perteneciente a Isla Sacrificios.

En la Figura 4 se ve que el 10% está cubierto por esponjas, mientras que aproximadamente el 5% está cubierto por ascidias, dando un total de 15% cubierto por macroinvertebrados.

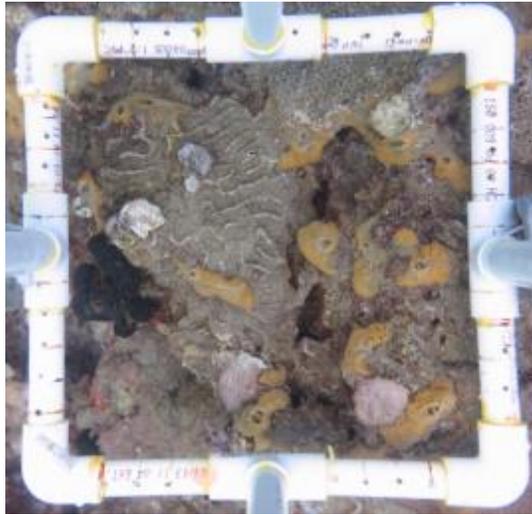


Figura 4. Fotocuadrante perteneciente a Isla Verde.

En la Figura 5 se puede observar que el 20% del fotocuadrante está cubierto únicamente por esponjas; asimismo, se puede visualizar un equinodermo, sin embargo, este tipo de organismos no se cuantificaron en las coberturas al ser organismos móviles.

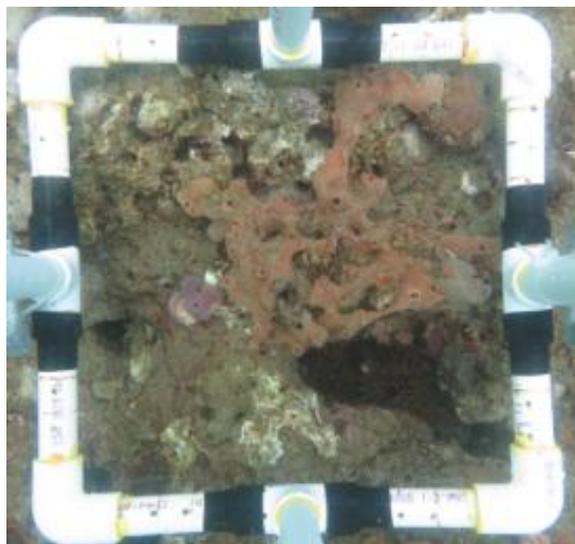


Figura 5. Fotocuadrante perteneciente a Pájaros.

Finalmente, en la Figura 6 se puede ver que aproximadamente el 35% está cubierto por octocorales.

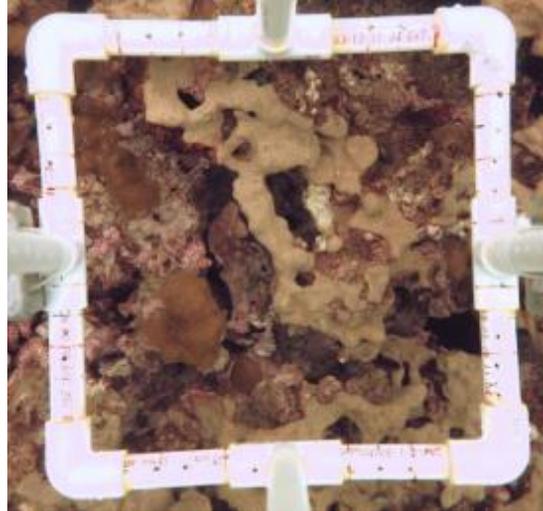


Figura 6. Fotocuadrante perteneciente a Blanca.

Por otra parte, con el fin de calcular el área efectivamente cubierta por macroinvertebrados sésiles, se tuvo que considerar las coberturas coralinas para cada arrecife (obtenidas del proyecto CONABIO GM005) para así poder obtener la cobertura de sustrato libre de coral correspondiente para cada arrecife; conociendo este dato, se puede calcular el área efectiva cubierta por macroinvertebrados haciendo reglas de tres para cada dato obtenido en cada fotocuadrante. Posteriormente, se determinaron las coberturas para cada grupo de macroinvertebrado, grupo arrecifal y SAV, para las dos campañas. Asimismo, en la medida de las posibilidades, se identificó visualmente a los macroinvertebrados sésiles no coralinos al nivel taxonómico más bajo posible. Para la identificación se ocuparon los siguientes catálogos fotográficos: Morris (1975), Rehder (1981), Kaplan *et al.* (1982), Kaplan *et al.* (1988), Humman (1994), Meinkoth (1994) y Amos y Amos (1997),

Análisis estadísticos

Se hizo una prueba de ajuste de χ^2 para conocer la normalidad de los datos, al no cumplir con el supuesto de normalidad, se realizó una prueba de U de Mann-Whitney para determinar si existían diferencias significativas entre los arrecifes, los grupos arrecifales y el SAV para las dos temporadas, asimismo se realizó una prueba de Kruskal-Wallis para comparar todos los arrecifes para cada temporada (Tabla 3). Para los estadísticos se utilizó el programa informático PAST usando los promedios de las coberturas de los macroinvertebrados de cada arrecife.

Tabla 3. Descripción de los estadísticos utilizados.

Estadístico	Descripción	Supuestos	Hipótesis
Prueba de ajuste de χ^2	La prueba de bondad de ajuste de χ^2 tiene como objetivo determinar si la distribución observada para una muestra puede ser aproximada por una distribución teórica (ej. Distribución de Poisson) (Dodge, 2008a).	1. Los datos se obtienen de una muestra aleatoria de la distribución de una variable aleatoria 2. Los datos obtenidos presentan una distribución de Poisson (Dodge, 2008a).	$H_0: \alpha > 0.05$ (Los datos analizados siguen una distribución de Poisson). $H_a: \alpha < 0.05$ (Los datos analizados siguen una distribución de Poisson) (Dodge, 2008a).
Prueba de U de Mann-Whitney	La prueba de Mann-Whitney es una prueba no paramétrica que pretende probar la igualdad de dos poblaciones. Se utiliza cuando tenemos dos muestras procedentes de dos poblaciones. Equivalente no paramétrico de t-Student (Dodge, 2008b).	1. Ambas muestras son muestras aleatorias tomadas de sus respectivas poblaciones; 2. Además de la independencia dentro de cada muestra, existe una independencia mutua entre las muestras; 3. La escala de medición es al menos ordinaria (Dodge, 2008b).	$H_0: U > 0.05$ (No existen diferencias estadísticamente significativas). $H_a: U < 0.05$ (Existen diferencias estadísticamente significativas) (Dodge, 2008b)

Continuación de Tabla 3

<p>Prueba de Kruskal-Wallis</p>	<p>La prueba de Kruskal-Wallis es el equivalente no paramétrico de un ANOVA unidireccional. Esta prueba es básicamente una extensión de la prueba U-Mann-Whitney. La prueba es apropiada cuando:</p> <p>a) Existen tres o más muestras que desea comparar; b) Los datos se comportan no paraméricamente (datos no distribuidos normalmente).</p> <p>Este estadístico nos permite conocer si existen diferencias estadísticamente significativas entre las muestras comparadas (Ostertagová <i>et al.</i>, 2014).</p>	<p>1. Las distribuciones continuas para la variable de prueba son exactamente las mismas (excepto sus medianas) para las diferentes poblaciones;</p> <p>2. Los casos representan muestras aleatorias de las poblaciones, y las puntuaciones en la variable de prueba son independientes entre sí (Ostertagová <i>et al.</i>, 2014)</p>	<p>$H_0: H > 0.05$ (Las medianas poblacionales son las mismas)</p> <p>$H_a: H < 0.05$ (Las medianas poblacionales son diferentes)</p> <p>(Ostertagová <i>et al.</i>, 2014)</p>
--	--	--	--

RESULTADOS

Análisis temporal

En términos generales todos los arrecifes durante la temporada de secas presentan menores coberturas de macroinvertebrados en comparación con la temporada de lluvias (Tabla 4 y 5, Figura 7). Los arrecifes que presentan las mayores coberturas de macroinvertebrados son IS_{secas} e IV_{lluvias}, mientras que BL_{secas} y CH_{lluvias} son los arrecifes que presentan las menores coberturas. También, se pueden observar cambios en la cobertura total de macroinvertebrados en IV y BL, al pasar del 5.0±0.7% al 19.0±2.5% y del 1.0±0.1% al 10.6±1.2%, respectivamente. Los arrecifes del grupo norte presentan mayores coberturas que los del sur para ambas temporadas.

Tabla 4.
Cobertura promedio (%±error estándar) por grupo de macroinvertebrados presentes en los arrecifales del SAV para época de secas.

Arrecife	Des	Oct	Hex	Pol	Cir	Phy	Asc	Total
HO	3.6±0.3	<0.1±0.004	0.1±0.08	0.2±0.1	<0.1±0.05	0.2±0.05	<0.1±0.01	4.2±0.5
GL	2.3±0.3	0.0±0.0	0.0±0.0	<0.1±0.01	<0.1±0.01	<0.1±0.01	<0.1±0.01	2.4±0.3
IS	7.9±0.9	0.6±0.2	<0.1±0.02	<0.1±0.01	0.0±0.0	0.0±0.0	<0.1±0.04	8.7±1.1
PJ	2.6±0.4	0.9±0.4	0.0±0.0	<0.1±0.002	<0.1±0.003	0.0±0.0	0.0±0.0	3.5±0.4
IV	5.0±0.9	0.0±0.0	0.0±0.0	<0.1±0.004	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	5.0±0.7
BL	0.7±0.3	0.3±0.2	<0.1±0.03	<0.1±0.01	<0.1±0.005	<0.1±0.01	<0.1±0.001	1.0±0.1
CH	2.1±0.7	1.0±0.4	0.0±0.0	0.1±0.04	0.0±0.0	<0.1±0.01	<0.1±0.05	3.2±0.3
IE	2.7±0.7	0.8±0.5	0.0±0.0	<0.1±0.006	0.0±0.0	0.0±0.0	0.1±0.06	3.6±0.4
CA	4.7±0.7	0.0±0.0	<0.1±0.004	<0.1±0.01	0.0±0.0	0.0±0.0	<0.1±0.05	4.8±0.7
AF	2.1±0.5	0.0±0.0	<0.1±0.04	<0.1±0.03	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	2.2±0.3
GN	4.3±1.0	0.3±0.2	<0.1±0.02	<0.1±0.04	<0.1±0.01	<0.1±0.04	<0.1±0.01	4.8±0.6
GS	2.5±0.6	0.4±0.2	<0.1±0.01	<0.1±0.02	<0.1±0.002	<0.1±0.004	<0.1±0.02	3.0±0.3
SAV	3.4±0.6	0.4±0.1	<0.1±0.01	<0.1±0.02	<0.1±0.006	<0.1±0.02	<0.1±0.01	3.9±0.5

Asc=Ascidiacea. Cir=Cirripedia. Des=Demospongiae. Hex=Hexacorallia. Oct=Octocorallia. Phy=Phyllorididae. Pol=Polychaeta.

Tabla 5.
Cobertura promedio (%±error estándar) por grupo de macroinvertebrados presentes en los arrecifales del SAV para la época de lluvias.

Arrecife	Des	Oct	Hex	Pol	Cir	Phy	Asc	Total
HO	7.3±0.6	0.07±0.07	<0.1±0.01	0.2±0.09	0.2±0.04	<0.1±0.004	<0.1±0.005	7.8±1.0
GL	2.8±0.5	0.0±0.0	0.0±0.0	<0.1±0.02	0.1±0.03	0.1±0.07	0.1±0.08	3.1±0.4
IS	10±0.9	2.7±0.6	0.0±0.0	<0.1±0.02	<0.1±0.01	0.0±0.0	0.3±0.1	13.0±1.4
PJ	7.2±1.0	0.04±0.04	<0.1±0.01	<0.1±0.03	0.0±0.0	<0.1±0.02	0.4±0.4	7.8±1.0
IV	17.7±1.9	0.08±0.08	0.1±0.06	<0.1±0.03	0.0±0.0	0.0±0.0	1.0±0.4	19.0±2.5
BL	2.3±0.5	8.2±1.8	<0.1±0.01	<0.1±0.01	0.0±0.0	0.0±0.0	<0.1±0.02	10.6±1.2
CH	1.3±0.3	0.9±0.4	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	<0.1±0.05	2.3±0.2
IE	2.7±0.5	2±0.6	<0.1±0.002	<0.1±0.02	0.0±0.0	0.0±0.0	<0.1±0.005	4.9±0.4
CA	5.1±0.7	0.0±0.0	<0.1±0.01	<0.1±0.01	<0.1±0.01	0.0±0.0	0.0±0.0	5.1±0.7
AF	2.9±0.6	0.0±0.0	0.0±0.0	<0.1±0.02	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	2.9±0.4
GN	9.0±2.5	0.6±0.5	<0.1±0.02	<0.1±0.03	<0.1±0.04	<0.1±0.02	0.4±0.2	10.1±1.3
GS	2.9±0.6	2.2±1.5	<0.1±0.002	<0.1±0.009	<0.1±0.002	0.0±0.0	<0.1±0.01	5.2±0.5
SAV	5.9±1.6	1.4±0.8	<0.1±0.01	<0.1±0.02	<0.1±0.02	<0.1±0.01	0.2±0.1	7.7±0.8

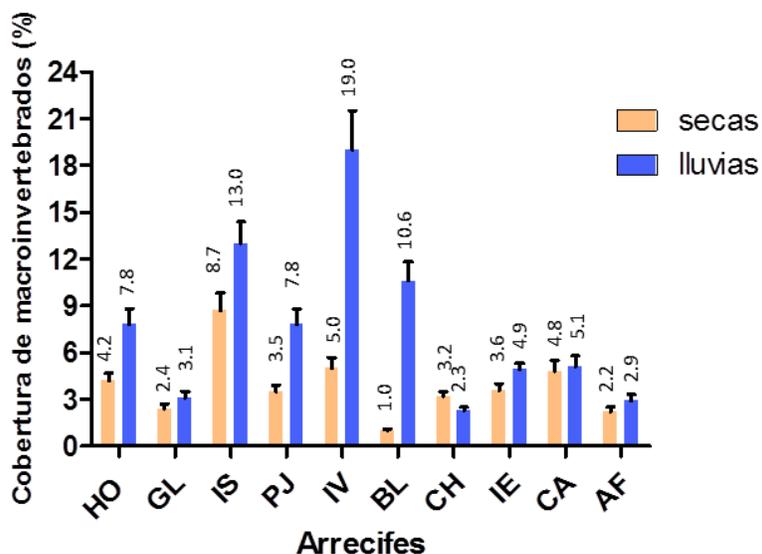


Figura 7. Cobertura total de macroinvertebrados (%) por arrecife para la época de secas y lluvias.

El grupo de macroinvertebrados mejor representado en los 10 arrecifes es Demospongiae (Des), seguido generalmente de Octocorallia (Oct), aumentando sus coberturas en temporadas de lluvias (Tabla 4 y 5, Figura 8 y 9).

Los arrecifes del GN presentan más grupos de macroinvertebrados en la temporada de lluvias, contrariamente a lo que pasa con los arrecifes del GS que presentan más grupos en la temporada de secas.

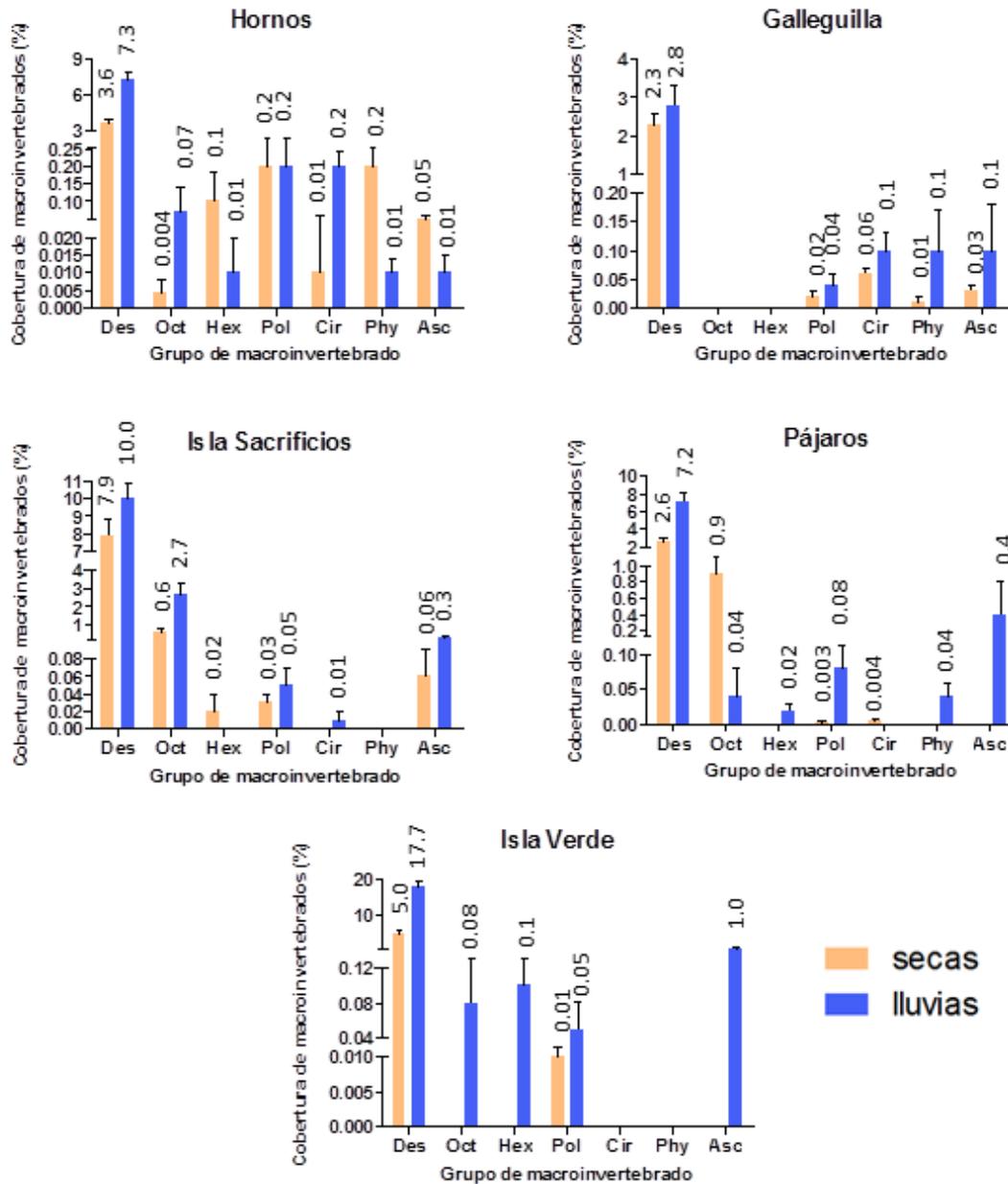


Figura 8. Gráficas del porcentaje de cobertura de los diferentes grupos de macroinvertebrados en los arrecifes del grupo norte, en dos temporadas secas y lluvias. Asc=Ascidiacea. Cir=Cirripedia. Des=Demospongiae. Hex=Hexacorallia. Oct=Octocorallia. Phy= Phyllorididae. Pol=Polychaeta.

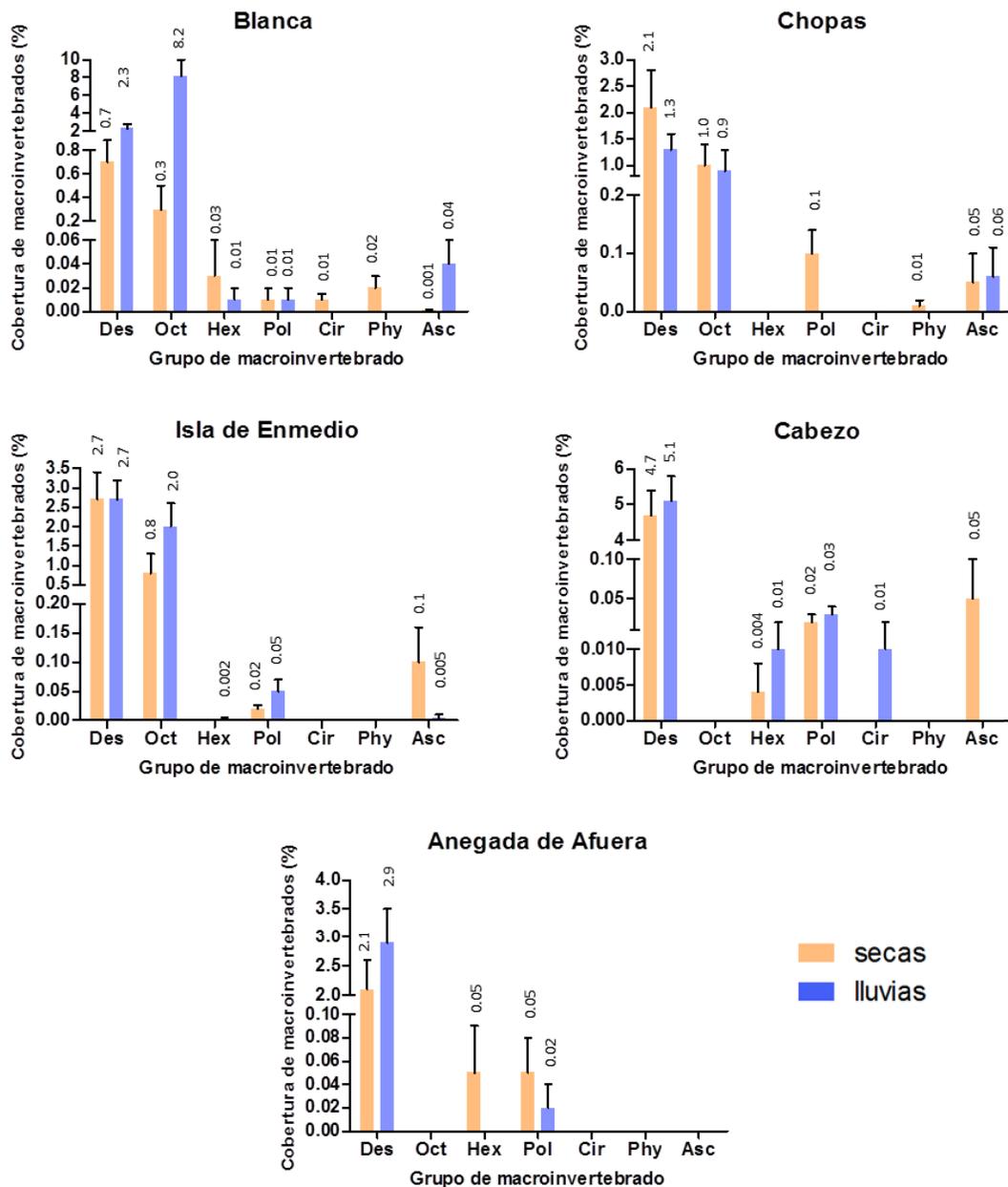


Figura 9. Gráficas del porcentaje de cobertura de los diferentes grupos de macroinvertebrados en los arrecifes del grupo sur, en dos temporadas secas y lluvias.

Análisis espacial

No hubo diferencias estadísticamente significativas cuando se compraron entre si todos los arrecifes tanto en la temporada de secas (Kruskal-Wallis: $H=10.5$ y $p=0.5$) como en la temporada de lluvias ($H=10.5$ y $p=0.5$). Sin embargo, al comparar los arrecifes en la misma temporada, IV-HO (Mann-Whitney: $U=8.5$, $p=0.04$) e IV-

BL (U= 9, p= 0.04) presentan diferencias estadísticamente significativas en la temporada de secas, mientras que para la temporada de lluvias únicamente AF-HO presentaron cambios estadísticamente significativos en las coberturas de macroinvertebrados (U= 9, p= 0.04) (Anexo 5 y 6).

Análisis general de los datos (promediando ambas temporadas)

Si se analizan las coberturas de macroinvertebrados de los arrecifes promediando las coberturas de las dos temporadas, los únicos arrecifes que presentan todos los grupos de macroinvertebrados son HO, PJ y BL. AF es el arrecife que presenta el menor número de grupos de macroinvertebrados para las dos temporadas. El arrecife que presenta mayor cobertura de macroinvertebrados en las dos campañas es IV (12.0±7.0%) y el que presenta la menor cobertura es AF (2.6±0.4%) (Tabla 6, Figura 10). El análisis estadístico mostró que los únicos arrecifes que presentaron diferencias significativas fueron AF-HO (U= 8, p= 0.038) (2.6±0.4% y 6.0±1.8%, respectivamente) (Anexo 7).

Tabla 6.
Promedio de cobertura (%±error estándar) de los grupos de macroinvertebrados por arrecife entre las dos temporadas.

Arrecife	Des	Oct	Hex	Pol	Cir	Phy	Asc	Total
HO	5.5±1.9	<0.1±0.03	<0.1±0.05	0.2±0.0	0.1±0.1	0.1±0.1	<0.1±0.02	6.0±1.8
GL	2.6±0.3	0.0±0.0	0.0±0.0	<0.1±0.01	0.1±0.02	<0.1±0.05	<0.1±0.04	2.8±0.4
IS	9.0±1.0	1.7±1.0	<0.1±0.01	<0.1±0.01	<0.1±0.01	0.0±0.0	0.2±0.1	10.8±2.2
PJ	4.9±2.3	0.5±0.4	<0.1±0.01	<0.1±0.04	<0.1±0.002	<0.1±0.02	0.2±0.2	5.6±2.2
IV	11.4±6.4	<0.1±0.04	<0.1±0.05	<0.1±0.02	0.0±0.0	0.0±0.0	0.5±0.5	12.0±7.0
BL	1.5±0.8	4.3±4.0	<0.1±0.01	<0.1±0.0	<0.1±0.01	0.0±0.01	<0.1±0.02	5.9±4.8
CH	3.0±0.4	1.0±0.05	0.0±0.0	<0.1±0.05	0.0±0.0	<0.1±0.01	<0.1±0.01	2.8±0.5
IE	2.7±0.0	1.4±0.6	<0.1±0.001	<0.1±0.02	0.0±0.0	0.0±0.0	<0.1±0.05	4.2±0.7
CA	4.9±0.2	0.0±0.0	<0.1±0.003	<0.1±0.01	0.1±0.01	0.0±0.0	<0.1±0.03	5.0±0.2
AF	2.5±0.4	0.0±0.0	<0.1±0.03	<0.1±0.04	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	2.6±0.4

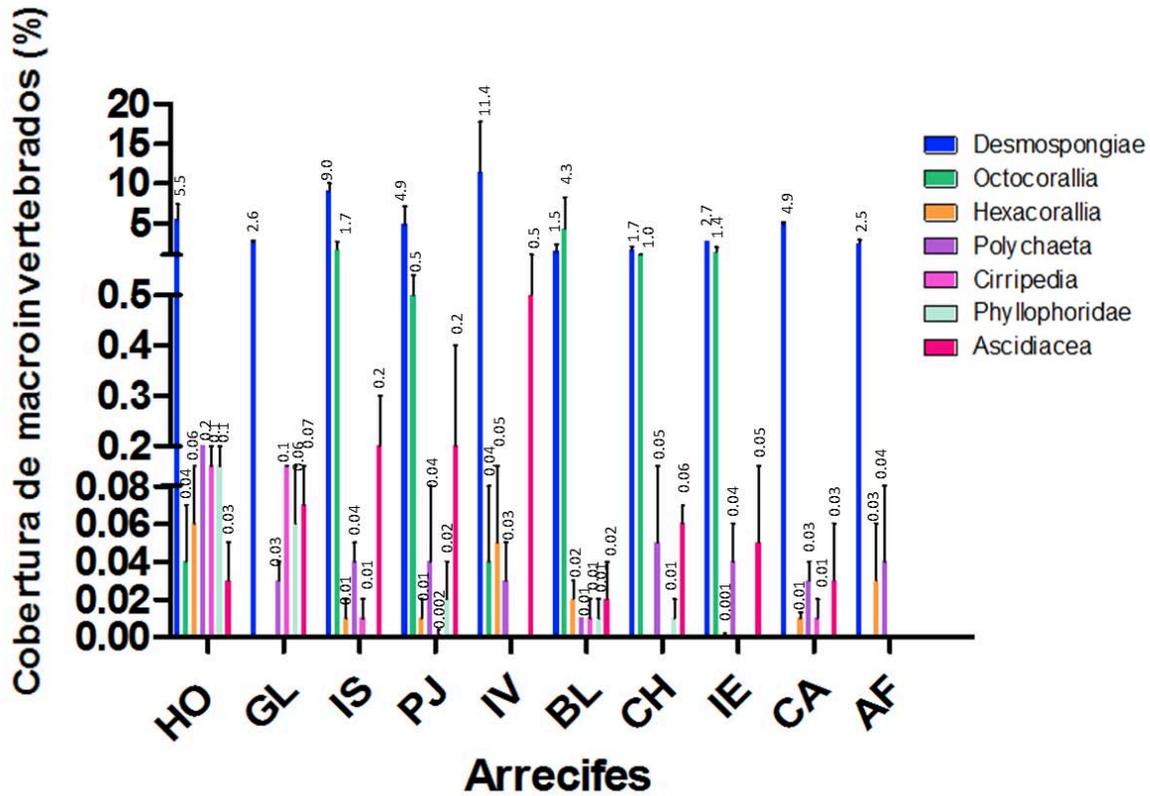


Figura 10. Promedios de los grupos de macroinvertebrados por arrecife entre las dos temporadas.

El grupo de macroinvertebrados que presenta mayor cobertura para SAV_{total} es Demospongiae con $4.7 \pm 0.4\%$, seguido de Octocorallia con $0.9 \pm 0.4\%$; además, se puede observar que el resto de los grupos de macroinvertebrados presentan coberturas menores a 0.1% , a excepción de Ascidiacea ($0.1 \pm 0.05\%$) (Tabla 7). El orden anterior también aplica para ambos grupos arrecifales para las dos temporadas y totales (Tabla 7, Figura 11).

No se mostraron diferencias estadísticamente significativas cuando se compararon los grupos arrecifales en la misma temporada (ej. GN_{total} vs. GS_{total}) y entre ambas temporadas (ej. GN_{secas} vs. $GN_{lluvias}$), lo cual también ocurrió cuando se comparó el SAV_{secas} vs. $SAV_{lluvias}$ (Anexo 4).

Tabla 7.
Promedio de cobertura (%±error estándar) por grupo de macroinvertebrado por grupo arrecifal y SAV en épocas de secas, lluvias y total.

	Des	Oct	Hex	Pol	Cir	Phy	Asc	Total
GN _{secas}	4.3±1.0	0.3±0.2	<0.1±0.02	<0.1±0.04	<0.1±0.01	<0.1±0.04	<0.1±0.01	4.8±0.7
GS _{secas}	2.5±0.6	0.4±0.2	<0.1±0.01	<0.1±0.02	<0.1±0.002	<0.1±0.004	<0.1±0.02	3.0±0.4
SAV _{secas}	3.4±0.6	0.4±0.1	<0.1±0.01	<0.1±0.02	<0.1±0.01	<0.1±0.02	<0.1±0.01	3.9±0.5
GN _{lluvias}	9.0±2.5	0.6±0.5	<0.1±0.02	<0.1±0.03	<0.1±0.04	<0.1±0.02	0.4±0.2	10.1±1.3
GS _{lluvias}	2.9±0.6	2.2±1.5	<0.1±0.002	<0.1±0.009	<0.1±0.002	0.0±0.0	<0.1±0.01	5.2±0.7
SAV _{lluvias}	5.9±1.6	1.4±0.8	<0.1±0.01	<0.1±0.02	<0.1±0.02	<0.1±0.01	0.2±0.1	7.7±0.8
GN _{total}	6.6±1.5	0.4±0.3	<0.1±0.01	<0.1±0.02	<0.1±0.02	<0.1±0.02	0.2±0.1	7.5±0.9
GS _{total}	2.7±0.4	1.3±0.8	<0.1±0.005	<0.1±0.01	<0.1±0.001	<0.1±0.002	<0.1±0.01	4.1±0.4
SAV _{total}	4.7±0.9	0.9±0.4	<0.1±0.07	<0.1±0.01	<0.1±0.01	<0.1±0.01	0.1±0.05	5.8±0.7

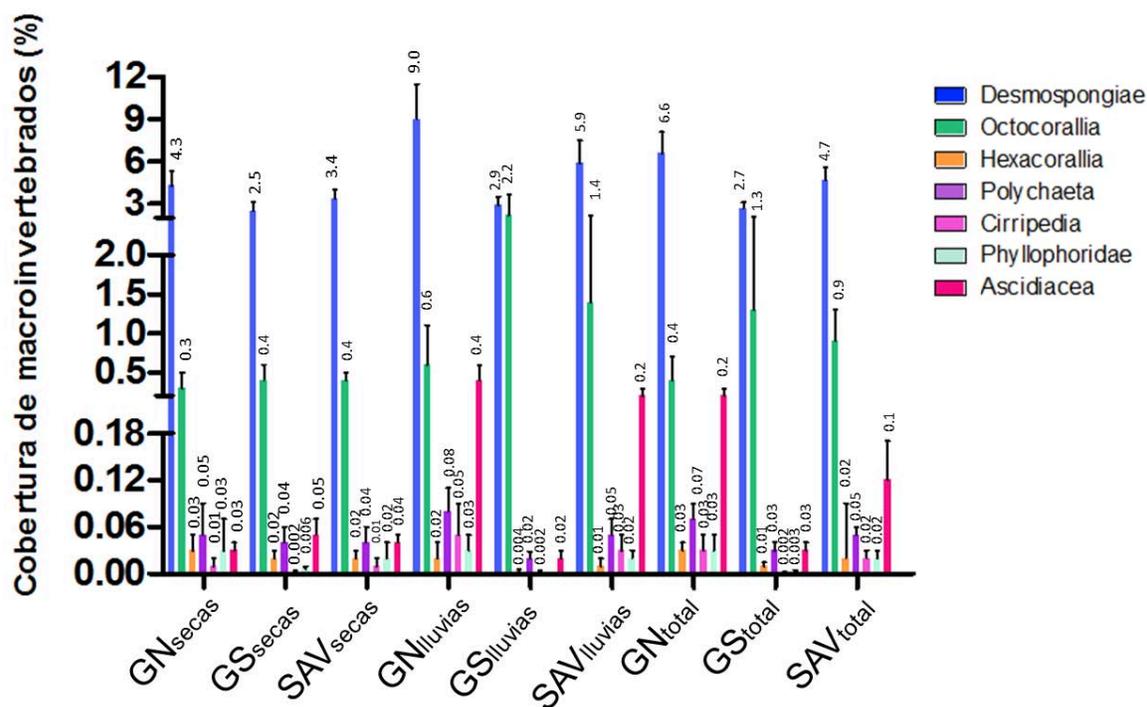


Figura 11. Promedio de cobertura por grupo de macroinvertebrado por grupo arrecifal y SAV en épocas de secas, lluvias y total.

En la Figura 12 se puede apreciar mejor que el GN presenta más cobertura de macroinvertebrados por temporada y total cuando se compara con el GS. También se puede observar que en general la temporada de lluvias se presenta más

cobertura de macroinvertebrados, SAV_{secas} ($3.9 \pm 0.5\%$) y $SAV_{lluvias}$ ($7.7 \pm 0.8\%$) (Tabla 7).

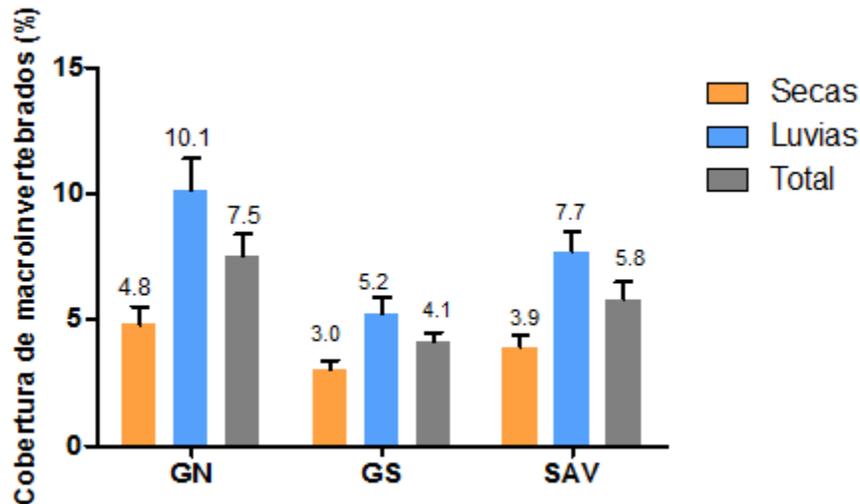


Figura 12. Cobertura de macroinvertebrados por grupo arrecifal y SAV. Datos en Tabla 7.

El grupo más representado en todos los arrecifes para ambas campañas son las esponjas, presentándose más en temporada de secas (86.5%) que en temporada de lluvias (77.5%); generalmente, todos los grupos de macroinvertebrados aumentan su abundancia en la temporada de lluvias (Figura 13).

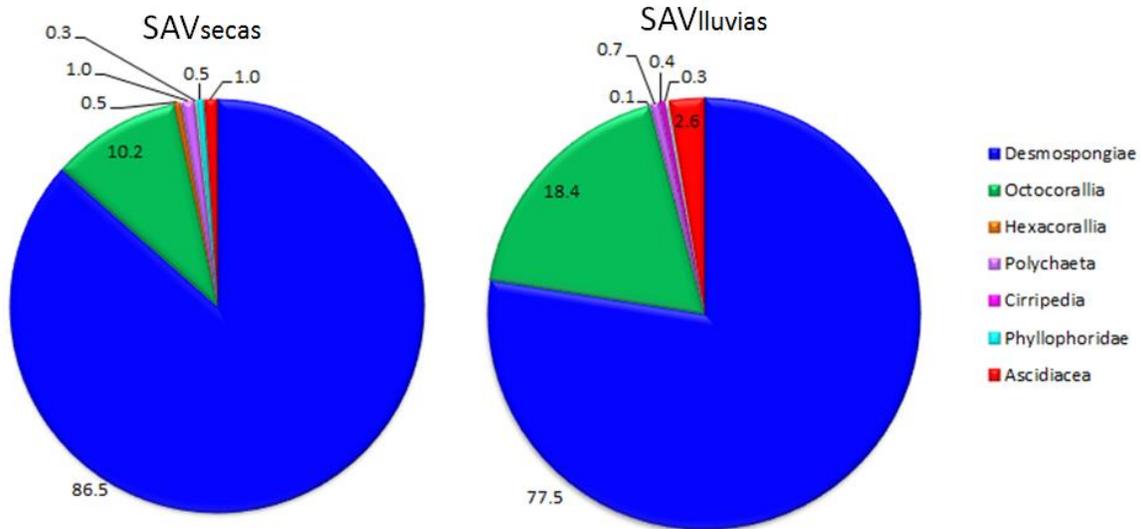


Figura 13. Porcentaje por grupo de macroinvertebrados para todo el SAV_{secas} y SAV_{lluvias}.

Se presenta a continuación la cobertura coralina, de macroinvertebrados y de otros (gremios algales, roca coralina y arena) para cada arrecife, grupo arrecifal y SAV tanto para la temporada de secas como de lluvias (Tabla 8 y 9). Estos datos se tienen debido a que este estudio deriva del proyecto CONABIO GM005. Finalmente, los arrecifes del GN presentan menor cobertura coralina y mayor cobertura de macroinvertebrados, tanto para la época de secas como de lluvias, caso contrario a lo que sucede en el GS. Si se compara todo el SAV en las dos temporadas, se puede ver que en la temporada de lluvias se presenta mayor cobertura de macroinvertebrados, comparada con la de secas; sin embargo, ambas campañas presentan casi el mismo porcentaje de cobertura coralina (Tabla 8 y 9).

Tabla 8.
Cobertura coralina y de macroinvertebrados (%±error estándar) en los arrecifes y grupos arrecifales del SAV en época de secas

Arrecife	Macroinvertebrados	Coral	Otros
HO	4.2±0.5	3.0±0.2	92.8
GL	2.4±0.3	13.0±0.9	84.6
IS	8.7±1.1	20.3±0.6	71.0
PJ	3.5±0.4	15.4±0.6	81.1
IV	5.0±0.7	48.8±1.8	46.2
BL	1.0±0.1	16.7±0.3	82.3
CH	3.2±0.3	65.9±1.8	30.9
IE	3.6±0.4	52.6±1.2	43.8
CA	4.8±0.7	49.0±1.2	46.2
AF	2.2±0.3	37.3±2.2	60.5
GN	4.8±0.6	20.1±7.7	75.1±8.0
GS	3.0±0.3	44.3±8.3	52.7±8.8
SAV	3.9±0.5	32.2±6.7	63.9±6.7

Tabla 9.
Cobertura coralina y de macroinvertebrados (%±error estándar) en los arrecifes y grupos arrecifales del SAV en época de lluvias

Arrecife	Macroinvertebrados	Coral	Otros
HO	7.8±1.0	2.3±0.3	89.9
GL	3.1±0.4	27.0±1.9	69.9
IS	13.0±1.4	18.2±0.8	68.8
PJ	7.8±1.0	15.6±0.6	76.6
IV	19.0±2.5	53.2±2.3	27.8
BL	10.6±1.2	38.3±1.4	51.1
CH	2.3±0.2	44.1±1.1	53.6
IE	4.9±0.4	46.4±1.7	48.7
CA	5.1±0.7	45.6±1.1	49.3
AF	2.9±0.4	37.6±1.6	59.5
GN	10.1±1.3	23.3±8.5	66.6±10.4
GS	5.2±0.5	42.4±1.9	52.4±2.0
SAV	7.7±0.8	32.8±5.2	59.5±5.5

DISCUSIÓN

Análisis temporal

Aunque en este estudio no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre temporadas, si se pueden observar mayores coberturas de macroinvertebrados en la temporada de lluvias atribuyéndoselo a la influencia de los ríos. La temporada lluviosa en el SAV se extiende de junio a octubre y alcanza el nivel máximo en septiembre (mes de muestreo de la temporada de lluvias) con $104.2 \text{ mm mes}^{-1}$, mientras que en la temporada de secas la precipitación promedio es de 12.8 mm mes^{-1} (Carricart-Ganivet y Horta-Puga, 1993 y Carrillo *et al.*, 2010). La precipitación hace que los ríos no sólo acarren más agua y sedimentos terrígenos, sino que también traigan consigo material orgánico particulado, además de residuos de pesticidas y fertilizantes (nutrientes), entre otros contaminantes (Horta-Puga, 2010), beneficiando a organismos filtradores, ya que al aumentar la concentración de nutrientes, se da también un aumento de la producción primaria (ej. fitoplancton), por lo cual los organismos filtradores tienen más alimento disponible en la columna de agua (Aerts y Van Soest, 1997; Pastorok y Biyard, 1985 y Shenkar *et al.*, 2008).

Por otra parte, el hecho de que el arrecife BL tenga un cambio contundente en la cobertura total de macroinvertebrados de una época a otra (mayor cobertura en lluvias) sea debido a la temporada, además de ser el arrecife más cercano a la desembocadura del río Jamapa (Horta-Puga *et al.*, 2015), lo cual provoca que exista más material orgánico particulado y mayores concentraciones de nutrientes, beneficiando a la comunidad sésil filtradora (Aerts y Van Soest, 1997; Pastorok y Biyard, 1985 y Shenkar *et al.*, 2008).

Análisis espacial

Las diferencias estadísticamente significativas encontradas de HO y BL con respecto a IV en la temporada de secas se pueden atribuir al número de grupos de macroinvertebrados presentes en cada arrecife. IV es uno de los arrecifes que presenta signos de conservación más destacados que otros arrecifes del SAV

(Horta-Puga y Tello Musi, 2009), por tal motivo posiblemente presentó menos grupos de macroinvertebrados (2 grupos). Por otra parte, HO y BL fueron los arrecifes que presentaron todos los grupos de macroinvertebrados en la misma temporada (secas), es posible que HO presentara los 7 grupos de macroinvertebrados a causa de su cercanía con la costa, siendo el más próximo al puerto de Veracruz, y por ende el arrecife más impactado por actividades antropogénicas (Horta-Puga y Tello-Musi, 2009), mientras que BL seguramente presentó todos los grupos por ser el arrecife más cercano a la desembocadura del río Jamapa (Horta-Puga y Tello-Musi, 2009). Tanto las actividades antropogénicas como la influencia de los ríos lleva a que exista más material orgánico particulado y mayor concentración de nutrientes, favoreciendo a la comunidad filtradora (Aerts y Van Soest, 1997; Pastorok y Biyard, 1985; Mejía-Niño y Garzón-Ferreira, 2003; Shenkar *et al.*, 2008 y Horta-Puga y Tello-Musi, 2009).

Por otra parte, AF-HO fueron los únicos arrecifes que presentaron diferencias estadísticamente significativas para la temporada de lluvias, posiblemente estas diferencias se hayan encontrado porque AF fue el arrecife que mostró menores coberturas y grupos de macroinvertebrados, atribuyéndoselo a que es el arrecife más alejado de la costa, sugiriendo que las condiciones ambientales, como las aguas más claras y menos influenciadas por la descarga fluvial y/o las actividades humanas que se desarrollan en la ciudad y puerto de Veracruz, no favorezcan a la comunidad sésil filtradora al haber menos alimento disponible en la columna de agua (Horta-Puga y Tello-Musi, 2009). Mientras que HO presento todos los grupos de macroinvertebrados, siendo un arrecife altamente perturbado situado frente a la ciudad, afectado por la descarga de efluentes pluviales, tráfico de embarcaciones menores y turismo, presentando más nutrientes y material orgánico particulado, favoreciendo a la comunidad sésil filtradora (Chávez *et al.*, 2010; Horta-Puga, 2010; Carrillo *et al.*, 2010 y Pastokok y Bilyard, 1985).

Asimismo, se encontró que el GN presentó mayores coberturas ($7.5 \pm 0.9\%$) que el GS ($4.1 \pm 0.4\%$), aunque estos cambios no fueron estadísticamente significativos.

Lo anterior también se puede observar en un estudio realizado por Horta-Puga y Tello-Musi (2009) donde también reportan mayores coberturas de macroinvertebrados en los arrecifes del GN (13.9%) que en los arrecifes del GS (8.6%). La diferencia de coberturas principalmente se puede explicar a la cercanía de la costa, ya que los arrecifes del GN presentan menor distancia con respecto a esta, haciendo que estén más influenciados por la urbanización y la proximidad de la desembocadura de los ríos, presentándose más partículas orgánicas que pueden ser potencialmente ocupadas por organismos filtradores (Chávez *et al.*, 2010; Horta-Puga, 2010; Carrillo *et al.*, 2010 y Pastokok y Bilyard, 1985).

Grupos de macroinvertebrados

Los resultados muestran que tanto las esponjas como los octocorales son los grupos que presentan las mayores coberturas, lo cual también se ha observado en otros estudios como el de Díaz y Rützler (2001) donde mencionan que las esponjas son un componente importante en los arrecifes de coral del Caribe, debido a sus propiedades biológicas y ecológicas que las hacen influyentes en los ecosistemas coralinos del Caribe, por ejemplo su alta diversidad, alta abundancia (coberturas del 24% al 54% en arrecifes coralinos), rápidas tasas de crecimiento (ej. la familia Clionidae (encontrada durante el muestreo) puede propagarse rápidamente hasta 19 cm por año), establecimiento de asociaciones simbióticas (zooxantelas), ser organismos filtradores por excelencia (prosperando algunas especies de esponjas en aguas ligeramente orgánicamente contaminadas), además de producir potentes aleloquímicos para dañar los tejidos y prevenir e inhibir el crecimiento de otros organismos sésiles (Jackson y Buss, 1975 y Chadwick y Morrow, 2011). Por otra parte, Tunnell y Nelson (1989) reportan que en el arrecife IE los octocorales fueron los organismos más abundantes, representando el 54% del muestreo, seguido de las esponjas (7.5%), atribuyéndole la gran abundancia de octocorales a que en el arrecife IE presenta las condiciones abióticas óptimas para el establecimiento y desarrollo de los octocorales (sustrato duro donde se pueda establecer la larva, temperatura (20-

37°C), disponibilidad de luz y movimiento del agua). Fabricius y De'ath (2008) reportan que en la Gran Barrera Arrecifal Australiana la cobertura promedio de octocorales puede variar desde el 3-35% llegando alcanzar hasta el 70%, ligando los cambios de coberturas a las zonas arrecifales y a las asociaciones simbióticas, teniendo mayores coberturas en zonas arrecifales protegidas del oleaje intenso y en las zonas donde abundan octocorales zooxantelados.

Las ascidias generalmente constituyen un componente menor en la comunidad bentónica en los arrecifes de coral, por ser especies que se encuentran en ambientes crípticos (Shenkar *et al.*, 2008). Sin embargo, potencialmente pueden competir muy bien con otros organismos sésiles por los recursos disponibles tales como espacio y comida, debido a sus altas tasas de crecimiento y fecundidad, madurez sexual temprana, producción de aleloquímicos, falta de depredadores exitosos y por su alimentación por filtración (Jackson y Buss, 1975; Nandakumar, 1995; Turon, 1990; Bak *et al.*, 1996 y Chadwick y Morrow, 2011); en algunos arrecifes de coral de Eilat se han reportado coberturas de ascidias de hasta el 27% (Shenkar *et al.*, 2008), encontrando ausencias de ascidias en sitios de contaminación extrema (Bak *et al.*, 1996). Considerando lo anterior, posiblemente se hayan encontrado coberturas bajas de ascidias a causa de que estas habitan en microhabitats crípticos, además de la contaminación a la cual se encuentra sometido el SAV, considerado este sistema arrecifal como un ecosistema impactado principalmente por actividades humanas (Shenkar *et al.*, 2008; Horta-Puga y Tello-Musi, 2009; Mejía-Niño y Garzón-Ferreira, 2003 y Barott *et al.*, 2014).

La cobertura de Cirripedios aquí encontrados ($0.02 \pm 0.01\%$) se puede explicar a que son organismos pequeños además de ser competitivamente débiles, principalmente cuando compiten por el espacio con esponjas, ascidias y briozoos (Quinn, 1982; Russ, 1982 y Nandakumar, 1995). Por otra parte, la cobertura de poliquetos fue menor a otros grupos de macroinvertebrados aquí estudiados porque son organismos pequeños, no coloniales (Cruz, 2012).

Las coberturas de los grupos restantes de macroinvertebrados (anémonas y phylloporidos) no han sido suficientemente estudiadas, en cuanto a las anémonas los estudios ecológicos se enfocan principalmente en la composición de la fauna asociada con las mismas, además de sus interacciones biológicas con otros organismos (Astakhov, 2012; Astakhov, 2014 y Vafeiadou *et al.*, 2012). Mientras que la información relacionada con el grupo de los phylloporidos es aún más escasa puesto que apenas se está comenzando a dar la taxonomía de los mismos, a causa de que son organismos difíciles de localizar, de recolectar y de identificar por su tamaño y sus hábitos crípticos (Olguín *et al.*, 2015).

Finalmente, es posible que se hayan encontrado bajas coberturas de los diferentes grupos de macroinvertebrados por de la metodología usada, dado que se excluyeron macroinvertebrados mayores a 25 cm.

Análisis general de los datos (promediando ambas temporadas)

Los valores encontrados en el presente trabajo de cobertura total de macroinvertebrados para el SAV (5.5-0.7%) son inferiores a los reportados en trabajos previos, los cuales han obtenido coberturas de 11.3% (Horta-Puga y Tello-Musi, 2009) y 19.7% (Horta-Puga *et al.*, 2015); sin embargo, en los trabajos anteriormente citados, también se cuantificaron las coberturas de organismos bentónicos como erizos de mar y moluscos, además de organismos pertenecientes al género *Millepora*.

Es posible que en este estudio HO haya presentado todos los grupos de macroinvertebrados aquí estudiados debido a la heterogeneidad ambiental que presenta, como fragmentos de organismos coralinos muertos y sustrato rocoso, los cuales son potencialmente ocupados para el establecimiento de otras especies sésiles (Del Castillo-Sarabia, 2007 y Alongi, 1989). Asimismo, no se puede olvidar la influencia que tiene la descarga del río sobre la comunidad bentónica sésil, además de la cercanía a la costa. Por otra parte, el hecho de que también el arrecife BL presentará todos los grupos de macroinvertebrados sea debido a la

temporada, además de ser el arrecife más cercano a la desembocadura del río Jamapa (Horta-Puga *et al.*, 2015).

Por último, al no mostrarse diferencias estadísticamente significativas en muchos de los casos cuando se compararon las coberturas de macroinvertebrados entre arrecifes de la misma temporada y de temporadas diferentes, grupos arrecifales y SAV_{secas} vs. SAV_{lluvias}, se puede decir que no hay una dependencia de la cobertura de macroinvertebrados con respecto a la escala espacio-temporal estudiada (Murdoch y Aronson, 1999).

CONCLUSIONES

- La cobertura general promedio de macroinvertebrados sésiles para todo el SAV es de $5.8 \pm 0.7\%$.
- La cobertura general promedio para el SAV en época de secas fue $3.9 \pm 0.5\%$ y en época de lluvias fue de $7.7 \pm 0.8\%$. No se presentaron diferencias significativas entre épocas anuales.
- La cobertura general promedio para el GN_{total} fue de $7.5 \pm 0.9\%$ y en el GS_{total} de $4.1 \pm 0.4\%$. No se presentaron diferencias significativas entre dichos grupos.
- El grupo taxonómico de macroinvertebrados sésiles más abundante en el SAV fueron las Demospongiae ($4.7 \pm 0.9\%$), seguido de Octocorallia ($0.9 \pm 0.4\%$), Hexacorallia ($0.02 \pm 0.07\%$), Polychaeta ($0.05 \pm 0.01\%$), Cirripedia ($0.02 \pm 0.01\%$), Phyllophoridae ($0.02 \pm 0.01\%$) y Ascidiacea ($0.1 \pm 0.05\%$). Sin embargo, no hay diferencias estadísticas entre los grupos. Este orden de abundancia se presentó, en términos generales en todos los arrecifes en ambas temporadas.
- En general, no se observaron diferencias en la composición de la comunidad de macroinvertebrados sésiles entre las temporadas de secas y lluvias, tanto en los diferentes arrecifes, como entre los grupos arrecifales y el SAV en su conjunto.
- Se considera que la comunidad de macroinvertebrados sésiles no coralinos no son dependientes de las escalas espacio-temporal aquí estudiadas.

LITERATURA CITADA

- Aerts**, L. A. M. y R. W. M. Van Soest. 1997. Quantification of sponge/coral interactions in a physically stressed reef community, NE Colombia. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 21:175-189.
- Alongi**, D. M. 1989. Ecology of tropical soft-bottom benthos: a review with emphasis on emerging concepts. *Rev. Biol. Trop.* 37(1):85-100.
- Amos**, H. W. y H. S. Amos. 1997. *Atlantic and gulf coasts*. Houghton Mifflin Company. Estados Unidos de América. 670 p.
- Astakhov**, D. A. 2012. Fauna of Anemonefishes (Perciformes, Pomacentridae, Amphiprioninae) and Host Sea Anemones (Cnidaria, Actiniaria) of the Bach Long Vi Island (South China Sea, Gulf of Tonkin, Northern Vietnam). *J. Ichthyol.*, 52 (6): 723-725.
- Astakhov**, D. A. 2014. Fauna of Anemonefishes (Pomacentridae, Amphiprioninae) and Their Host Sea Anemones (Cnidaria, Actiniaria) of Innafushi Mini Atoll (Indian Ocean, Maldives Islands, Ari Atoll). *J. Ichthyol.*, 54 (9): 749-752.
- Báez**, S. P. D. y N. E. Ardila. 2003. Poliquetos (Annelida: Polychaeta) del mar Caribe colombiano. *Biota Colombiana*, 4(1): 89-109.
- Bak**, R. P. M., D. Y. M. Lambrechts, G. Nieuwland y M. L. J. Van Velghel. 1996. Long-term changes on coral reefs in booming populations of a competitive colonial ascidian. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 133: 303-306.
- Barott**, K. L., G. J. Williams, M. J. A. Vermeij, J. Harris, J. E. Smith, F. L. Rohwer y S. A. Sandin. 2014. Natural history of coral-algae competition across a gradient of human activity in the Line Islands. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 460:1-12.
- Bastida-Zavala**, R., J. Á. de León-González, J. L. Carballo y B. Moreno-Dávila. 2014. pp. 317-336. Invertebrados bénticos exóticos: esponjas, poliquetos y ascidias. En: R. Mendoza y P. Koleff (eds.). *Especies acuáticas invasoras en*

México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

Brusca, R. C., E. Moore y S. M. Shuster. 2016. *Invertebrates*. Sinauer Associates. 3ra ed. Estados Unidos de América. 1104 p.

Campos-Bedolla, P., P. B. M. Bazán, P. N. Sanmartí, L. Ma. D. Torres, E. M. A. Fernández, S.N. Boixaderas, Ma. E. de la Rubia, B. R. Rodríguez, C. R. Pintó y Ma. J. G. López-Puigcever. 2002. *Biología*. Limusa. México. 200 p.

Carricart-Ganivet, J. P. y G. Horta-Puga. 1993. Arrecifes de coral en México. pp 81-92. En: S. I. Salazar-Vallejo y N. E. González (eds.). *Biodiversidad Marina y Costera de México*. Com. Nal. Biodiversidad y CIQRO, México. 865 p.

Carrillo, L., G. Horta-Puga. y J. P. Carricart-Ganivent. 2010. Clima y Oceanografía. pp 48-59. En: J. W. Tunnell Jr., E. A. Chávez y K. Withers (eds.). *Arrecifes coralinos del sur del Golfo de México*. Instituto Politécnico Nacional. México. 293 p.

Chadwick, N. E. y K. M. Morrow. 2011. Competition among sessile organisms on coral reefs. pp. 347-371. En: Z. Dubinsky y N. Stambler (eds.). *Coral reefs: An ecosystem in transition*. Springer. Doedrecht.

Chávez, E. A., J. W. Tunnell y K. Withers. 2010. Zonación y ecología de los arrecifes: Plataforma Veracruzana y Banco de Campeche, p. 60-100. En: Tunnell Jr., J. W., E. A. Chávez y K. Withers (Eds.) *Arrecifes coralinos del sur del Golfo de México*. Texas A&M University Press, Collage Station. 293 p.

Cruz, L. F. de J. 2012. *Invertebrados no artrópodos*. UNAM. México. 194 p.

Cueto, V. R. 2006. Escalas en ecología: su importancia para el estudio de la selección de hábitat en aves. *Hornero*, 21(1): 1-13.

Daly, M., D. G. Fautin y V. A. Cappola. 2003. Systematics of the Hexacorallia (Cnidaria:Anthozoa). *Zool. J. Linnean Soc.*, 139: 419–437.

De'ath, G., K. E. Fabricius, H. Sweatma y M. Puotinen. 2012. The 27-year decline of coral cover on the Great Barrier Reef and its causes. *Proc Natl Acad Sci USA*, 109(44): 17995-17999.

Del Castillo-Sarabia, L. E. 2007. Macrofauna bentónica en fondos blandos del arrecife Hornos, Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, México. Tesis maestría, Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 83 p.

Díaz, M. C. y K. Rützler. 2001. Sponges: An essential component of Caribbean coral reefs. *Bull. Mar. Sci.*, 69(2): 535-546.

Dodge, Y. 2008a. Chi-square Goodness of Fit Test. pp. 72-76. En: Dodge, Y. (ed.). *The Concise Encyclopedia of Statistics*. Springer-Verlag New York. 622p.

Dodge, Y. 2008b. Mann–Whitney Test. pp. 327-329. En: Dodge, Y. (ed.). *The Concise Encyclopedia of Statistics*. Springer-Verlag New York. 622p.

Dustan, P. y J. C. Halas. 1987. Changes in the reef-coral community of Carysfort Reef, Key Largo, Florida: 1974 to 1982. *Coral Reefs.*, 6: 91-106.

Fabricius, K. E. y G. De'ath. 2008. Photosynthetic symbionts and energy supply determine octocoral biodiversity in coral reefs. *Ecology*, 89: 3163–3173.

Gardner, T. A., M. I. Côté, A. J. Gill, A. Grant y A. R. Watkinson. 2003. Long-term region-wide declines in Caribbean corals. *Science.*, 301: 958-960.

Garzón-Ferreira, J. y J.M. Díaz. 2003. The Caribbean coral reefs of Colombia. pp. 275-301. En: J. Cortés (ed.). *Latin american coral reefs*. Elsevier Science. 497 p.

Gibson, C. C., E. Ostrom y T. K. Ahn. 2000. The concept of scale and the human dimensions of global change: a survey. *Ecol. Econ.*, 32: 217-239.

Glynn, P. W. e I. C. Enoch. 2010. Invertebrates and Their Roles in Coral Reef Ecosystems. pp. 273-325. En: Z. Dubinsky y N. Stambler (eds.). *Coral Reefs: An Ecosystem in Transition*. Springer Netherlands. 552 p.

Groombridge, B. 1992. Coral reefs. pp. 307-323. En: *World conservation monitoring centre. Global biodiversity: Status of the earth's living resources*. Chapman & Hall. London. 610 p.

Hein J. F., M. J. Risk. 1975. Bioerosion of coral heads: inner patch reefs, Florida reef tract. *B. Mar. Sci.*, 25(1): 133–138.

Horta-Puga, G. 2003. Condition of selected reef sites in the Veracruz Reef System (stony corals and algae). *Atoll Res. Bull.*, 496: 360-369.

Horta-Puga, G. 2010. Impactos Ambientales. pp. 183-205. En: J. W. Tunnell Jr., E. A. Chávez y K. Withers (eds.). *Arrecifes coralinos del sur del Golfo de México*. Texas A&M University Press, Collage Station. 293 p.

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.

Horta-Puga, 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.

Hughes, T. P., J. H. Connell y C. C. Wallace. 1991. Long-term spatial and temporal patterns of recruitment of reef crest coral. Proceedings Recruitments Workshop. Australian Society of Fisheries Biology Annual Meeting. Hobart Bureau of Rural Resources Report.

Humman, P. 1994. *Reef creature identification Florida caribbean Bahamas*. Paramount Miller Graphics. Estados Unidos de América. 344 p.

Jackson, J. B. C. y L. Buss. 1975. Allelopathy and spatial competition among coral reef invertebrates. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 72 (12): 5160-5163.

Kaplan, E. H., P. Billeter, G. W. Bird, D. E. Bray, R. Granade, G. P. Johnson, R. Kinsie III, C. J. Lang, T. G. Taylor, M. Telford, P. V. Vicente y A. B. Vittor. 1982. *Coral reefs*. Houghton Mifflin Company. Estados Unidos de América. 289 p.

Kaplan, E. H., D. C. Adams, D. R. Bray, R. A. Cavaliere, S. Davison, G. P. Johnson, F. Maturo, B. K. Meyer, R. Mulstay, W. C. Schneider, G. Taylor, M. Telford y A. B. Vittor. 1988. *Southeastern and caribbean seashores*. Houghton Mifflin Company. Estados Unidos de América. 425 p.

López-Victoria, M., S. Zea y E. Weil. 2006. Competition for space between encrusting excavating Caribbean sponges and other coral reef organisms. *Mar Ecol Prog Ser.*, 312: 113–121.

Meinkoth, A. N. 1994. *National audubon society field guide to north American seashore creatures*. Alfred A. Knopf. Estados Unidos de América. 813 p.

Mejía-Niño, N. y J. Garzón-Ferreira. 2003. Dinámica de las interacciones alga-coral en dos bahías de la región de Santa Marta (Caribe colombiano) con distinto grado de influencia antropogénica. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 32: 423-261.

Miller, J., E. Muller, C. Roger., R. Waara, A. Arkinson, K. R. T. Whelan, M. Patterson y B. Witcher. 2009. Coral disease following massive bleaching in 2005 causes 60% decline in coral cover n reefs in the US Virgin Islands. *Springer*, 28: 925-937.

Morris, A. P. 1975. *A field guide to shells of the Atlantic*. Houghton Mifflin Company. Estados Unidos de América. 330 p.

Murdoch, T. J. T. y E. B. Aronson. 1999. Scale-dependent spatial variability of coral assemblages along the Florida Reef Tract. *Coral Reefs*, 18: 341-351.

Nandakumar, K. 1995. Competitive interactions among sessile organisms in Tomioka Bay, south Japan: importance of light conditions on the panel Surface. *Mar. Biol.*, 121: 713-719.

Odum, E. P. y F. O. Sarmiento. 2001. Ecología: El puente entre ciencia y sociedad. McGraw-Hill Interamericana. México. 343 p.

Olguín J. C., F. A. M. Solís y A. Laguarda-Figureas. 2015. Revisión de la familia Phyllophoridae (Holothuroidea: Dendrochirotida) de las aguas mexicanas. *Rev. Biol. Trop.*, 63(2): 77-85.

Oscoz, E. J., L. C. Durán y D. M. Pardos. 2009. Guía de campo macroinvertebrados de la cuenca del Ebro. Confederación Hidrográfica del Ebro. España. 127 p.

Oscoz, J., D. Galicia, D. y R. Miranda. 2011. *Identification guide of freshwater macroinvertebrates of Spain*. Springer. Estados Unidos de América. 153 p.

Ostertagová, E., O. Ostertag y J. Zováč. 2014. Methodology and Application of the Kruskal-Wallis Test. *AMM.*, 611: 115-120.

Pastorok, R. A. y G. R. Bilyard. 1985. Effects of sewage pollution on coral-reefs communities. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 21: 175-189.

Quinn, J. F. 1982. Competitive hierarchies in marine benthic communities. *Oecologia*, 54: 129-135.

Rehder, H. A. 1981. *The audubon society field guide to north American seashells*. Alfred A. Knopf. Estados Unidos de América. 894 p.

Robinson, N.M., C. Galicia-García y Y. B. Okolodkov. 2012. New records of green (Chlorophyta) and brown algae (Phaeophyceae) for Cabezo reef, National Park Sistema Arrecifal Veracruzano, Gulf of Mexico. *Acta Bot. Mex.*, 101: 11-48

Russ, G. R. 1982. Overgrowth in a Marine Epifaunal Community: Competitive Hierarchies and Competitive Networks. *Oecologia*, 53: 12-19.

Salazar-Vallejo, S. y A. Molina-Ramírez. 2009. *Bicentenario de Darwin: Cirrípedos y contribuciones en taxonomía. Ciencia y Mar.*, 13(37): 47-55.

Schönberg, C. H. L. y C. R. Wilkinson. 2001. Induced colonization of corals by a clonid bioeroding sponge. *Coral Reefs*. 20: 69-76.

Shenkar, N., O. Bronstein e Y. Loya. 2008. Population dynamics of coral reef ascidian in a deteriorating environment. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 367: 163-171.

Storer, T. I., R. L. Usinger, R. C. Stebbins y J. W. Nybakken. 2003. *Zoología general*. Ed. Omega. 6^{ta} ed. España. 954 p.

Thomson, D. P. y A. J. Frisch. 2010. Extraordinarily high coral cover on a nearshore, high-latitude reef in south-west Australia. *Coral Reefs*, 29: 923-927.

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

Tunnell, J. W. y T. J. Nelson. 1989. A high density low diversity octocoral community in the southwestern Gulf of Mexico. *Diving for Science* (cita incompleta), p. 325-335.

Tunnell Jr., J. W. 2010. Distribución de los arrecifes. pp 17-29. En: *Arrecifes coralinos del sur del Golfo de México*. J. W. Tunnell Jr., E. A. Chávez y K. Withers (eds.). Instituto Politécnico Nacional. México. 293 p.

Turon, X. 1990. Distribution and abundance of ascidians from a locality on the northeast coast of Spain. *Mar. Ecol.*, 11 (4): 291-308.

Vafeiadou, Anna-Maria, C. Antoniadou, C. Chintiroglou. 2012. Symbiosis of sea anemones and hermit crabs: different resource utilization patterns in the Aegean Sea. *Helgol. Mar. Res.*, 66: 385-392.

Van Soest, R. W. M., N. Boury-Esnault, J. Vacelet, M. Dohrmann, D. Erpenbeck, J. De Voogd, N. Santodomingo, B. Vanhoorne, J. N. A. Hooper. 2012. Global diversity of sponges (Porifera). *PLoS ONE.*, 7(4): e35105

Whithers K. y J. W. Tunnell Jr. 2010. Biodiversidad de los arrecifes. pp. 101-127. En: J. W. Tunnell Jr., E. A. Chávez y K. Withers (eds.). *Arrecifes coralinos del sur del Golfo de México*. Texas A&M University Press, Collage Station. 293 p.

Zamorano, P. y G. E. L. Morales. 2005. Cambios en la diversidad de equinodermos asociados al arrecife coralino en La Entrega, Oaxaca. México. *Ciencia y Mar*. 4 (27): 19-28.

Zea, S. 1994. Cover of sponges and other sessile organisms in rocky and coral reef habitats of Santa Marta, Colombian Caribbean sea. *Caribb. J. Sci.*, 29(1-2):75-88.

ANEXO 1

Descripción de los grupos de macroinvertebrados sésiles encontrados

El criterio que se tomó para clasificar a los grupos que se encontraron fue el visual, considerando las características que podían ser identificadas a simple vista para cada grupo.

Demospongiae

Filo Porifera

Clase Demospongiae

Fuente: World Register of Marine Species (WoRMS)

Diagnosis: Las esponjas tienen un nivel simple de organización, existen células especializadas para realizar determinadas funciones vitales, sin embargo, las células no están organizadas en tejidos u órganos. Las esponjas se caracterizan por presentar células aplanas (pinacocitos) en el exterior, además de presentar un sistema interno de canales y cámaras recubiertas por coanocitos (células portadoras de flagelos) que generan las corrientes de agua necesarias para la característica de actividad de filtración única de las esponjas (Van Soest *et al.*, 2012). La clase Demospongiae se caracteriza por presentar espículas de sílice y/o esqueleto orgánico (u ocasionalmente sin ninguno) o en algunos grupos un sólido esqueleto calcítico; espículas secretadas intra o extracelular alrededor de un triángulo o hexágono axial filamentoso; espículas nunca 6 radiadas; esqueleto orgánico de espongina; la mayoría produce larvas de parénquima (Brusca *et al.*, 2016).

Morfología: Las esponjas pueden presentar un cuerpo simétrico o asimétrico, algunas asemejan a un pequeño grupo de tubos en forma de copa, alargados, unidos en su base mediante tubos horizontales irregulares. Las porciones dirigidas hacia arriba muestran una ancha abertura, el ósculo. La pared está atravesada por

numerosas aberturas de entrada o poros (ostiolos), en algunas ocasiones es posible ver canales (Storer *et al.*, 2003 y Cruz, 2012).

Que grupos se incluyen: Se encontraron esponjas que pertenecen a varios órdenes, familias y géneros. La identificación no es fácil, ya que se requiere el ejemplar para poder identificar a nivel de especie. Por lo anterior, todos los organismos de este grupo que no se pudieron identificar fueron asignados como demosponjas. Los organismos a los cuales se logró determinar la posición taxonómica a nivel genérico se encuentran: *Ircinia*, *Dysidea*, *Chondrilla*, *Scopalina*, *Halisarca*, *Cliona*, *Amphimedon*, *Niphates*, *Siphonodictyon*, *Monanchora*, *Desmapsamma*, *Iotrochota*, *Clathria*, *Mycale*, *Ectyoplasia*, *Aiolochoira* y *Pseudoceratina*.



Figura 14. Organismos pertenecientes a Demospongiae.

Octocorallia

Filo Cnidaria
Clase Anthozoa
Subclase Octocorallia

Fuente: *World Register of Marine Species (WoRMS)*

Diagnosis: Los organismos pertenecientes al grupo Anthozoa nunca presentan la fase medusa, exclusivamente se encuentran en forma pólipo; disco oral plano; presentan tentáculos numerosos y se encuentran arreglados alrededor de la boca (Storer *et al.*, 2003). Los octocorales se pueden distinguir de otras subclases, como Hexacorallia, principalmente porque sus tentáculos y mesenterios siempre están en número de ocho, de allí su nombre; tentáculos pinados; muchas de las especies con escleritos calcáreos libres o fundidos incrustados en mesénquima; estolones o coenquima conectan los pólipos (Brusca *et al.*, 2016).

Morfología: Organismos coloniales, conformados de pólipos pequeños con músculos retractiles, por tanto pueden observarse los pólipos expuestos o retraídos. Los pólipos de una colonia de octocorales están interconectados por una masa de tejido llamada cenénquima. Sólo la porción superior del pólipo asoma por arriba de este tejido (Cruz, 2012).

Grupos que incluye: Sólo se encontraron ejemplares del género *Erythropodium*.



Figura 15. Organismo perteneciente a Octocorallia.

Hexacorallia

Filo Cnidaria

Clase Anthozoa

Subclase Hexacorallia

Fuente: World Register of Marine Species (WoRMS)

Diagnosis: Los organismos pertenecientes al grupo Anthozoa nunca presentan la fase medusa, exclusivamente se encuentran en forma pólipo; disco oral plano; presentan tentáculos numerosos y se encuentran arreglados alrededor de la boca (Storer *et al.*, 2003). Los hexacoralinos pueden ser organismos coloniales o solitarios, sin o con esqueleto calcáreo o cutícula quitinosa, pero nunca con escleritos aislados; la característica distinguible de este grupo es que presentan mesenterios usualmente pareados y en múltiplos de seis (Brusca *et al.*, 2016).

Morfología: Organismos coloniales o solitarios. Presentan un cuerpo corto y cilíndrico, semejante a un pólipo con mayor tamaño y grosor. Sobre el disco oral superior, que es plano, hay numerosos tentáculos que rodean la boca que se encuentra en la parte central en forma de raja (Daly *et al.*, 2003 y Storer 2003).

Grupos que incluye: Se encontraron organismos pertenecientes a dos grupos: Zoanthidea y Actiniaria. El orden Zoanthidea incluye el género *Palythoa*, mientras que el orden Actiniaria incluye a la familia Actiniidae, y ésta a su vez al género *Anthopeura*.



Figura 16. Organismos pertenecientes a Hexacorallia.

Polychaeta

Filo Annelida

Clase Polychaeta

Fuente: *World Register of Marine Species (WoRMS)*

Diagnosis: Las características principales de los anélidos es que presentan una simetría bilateral; organización del cuerpo en segmentos (metamerismo); su cuerpo consiste en un lóbulo cefálico o prostomio, con estructuras sensoriales como ojos, antenas y palpos; un cuerpo segmentado o metastomio el cual lleva los parapodios que son apéndices laterales pares dispuestos a lo largo del cuerpo; y un extremo final o pigidio. La presencia de quetas constituye el carácter más conspicuo para el grupo (Brusca *et al.*, 2016 y Báez y Ardila, 2003).

Morfología: Los organismos sésiles de este grupo que principalmente se encuentran en el SAV, son los poliquetos tubícolas, los cuales son organismos sedentarios que permanecen confinados en tubos, contruidos por ellos mismos. Presentan una corona en forma de abanico constituida por numerosos tentáculos, los cuales pueden tener un patrón de coloración muy vistoso (Cruz, 2012 y Storer *et al.*, 2003).

Grupos que incluye: Principalmente las familias: Sabellidae y Serpulidae.



Figura 17. Organismos pertenecientes a Polychaeta.

Cirripedia

Filo Arthropoda
Subfilo Crustacea
Clase Thecostraca
Subclase Cirripedia

Brusca *et al.*, 2016

Diagnosis: Los cirrípedos son organismos que en fase adulta son sésiles, los cuales se adhieren mediante la glándula del cemento de la primera antena; el cuerpo está protegido por una serie de placas calcáreas; seis pares o menos de apéndices birrámeos, alargados y cerdosos detrás de la boca, que sirven para recoger el alimento; abdomen vestigial y presentan larvas plantónicas nadadoras (Storer *et al.*, 2003).

Morfología: Los cirrípedos son crustáceos que deben su nombre a que llevan un gran número de cirros en sus patas. Los cirrípedos viven envueltos por una serie de placas calcáreas ligeramente articuladas o cementadas entre sí (Salazar-Vallejo y Molina-Ramírez, 2009).

Grupos que incluye: Estos organismos sólo fueron identificados como cirrípedos, sin mayor profundidad taxonómica.



Figura 18. Organismos pertenecientes a Cirripedia.

Phyllophoridae

Filo Echinodermata

Subfilo Echinozoa

Clase Holothuroidea

Orden Dendrochirotida

Familia Phyllophoridae

Fuente: World Register of Marine Species (WoRMS)

Diagnosís: Los organismos pertenecientes a la familia Phyllophoridae presentan un cuerpo en forma de “U”, sin testa, presentando un anillo calcáreo con prolongaciones posteriores y compuestas en pequeñas piezas a modo de mosaico, los tentáculos se encuentran bien ramificados, los pies ambulacrales pueden estar restringidos a los ambulacros o dispersos en toda la superficie corporal y sus espículas son pequeñas e inconspicuas (Olguín *et al.*, 2015).

Morfología: Organismos con tentáculos filtradores típicamente ramificados, músculos presentes en tentáculos y región oral (Brusca *et al.*, 2016).

Grupos que incluye: Únicamente se encontró la familia Phyllophoridae.



Figura 19. Organismos pertenecientes a Phyllophoridae.

Ascidiacea

Filo Chordata
Subfilo Tunicata
Clase Ascidiacea

Fuente: World Register of Marine Species (WoRMS)

Diagnosis: Organismos sésiles filtradores, también llamados ascidias, presentan en etapas larvales una notocorda. Presentan una estructura en forma de saco que cubre el cuerpo: túnica. Algunas especies de ascidias son coloniales, mientras que otras son solitarias. Estos animales presentan una etapa larval pelágica antes de adherirse a un sustrato firme (Bastida-Zavala *et al.*, 2014).

Morfología: Organismos solitarios o coloniales, tunicados sésiles; con sifones inhalantes (oral) y exhalantes (atrial) generalmente dirigidos hacia arriba; sin cordón dorsal nervioso en estado adulto (Brusca *et al.*, 2016).

Grupos que incluye: Familias: Clavelinidae, Styelidae y Didemnidae. Se presentó un género de la familia Clavelinidae: *Eudistoma*, y un género de la familia Styelidae: *Symplegma*.



Figura 20. Organismos pertenecientes a Ascidiacea.

ANEXO 2

Macroinvertebrados sésiles encontrados en el SAV

Sólo se fue asignado el nivel taxonómico más bajo posible a los organismos que aparentemente pudieran pertenecer a este nivel. Sin embargo, no fue posible identificar todos los organismos.

Demospongiae



Desmpasama



Monanchora



Niphates



Amphimedon



lochordata



Chondrilla



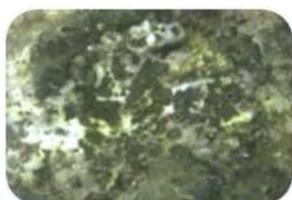
Siphonodictyon



Aka



Scopalina



Cliona



Cliona



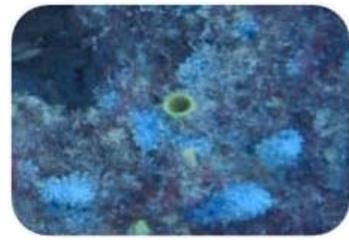
Cliona



Mycale



Pseudoceratina



Dysidea



Ircinia



Halisarca



Ectyoplasia



Clathria



Aiolochoiria



sp. 1



sp. 2



sp. 3



sp. 4



sp. 5



sp. 6



sp. 7



sp. 8

Octocorallia



Erythropodium

Hexacorallia



Infraorden
Thenaria



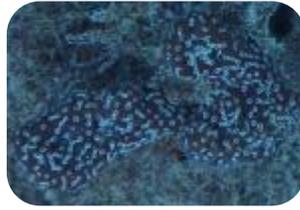
Anthopleura



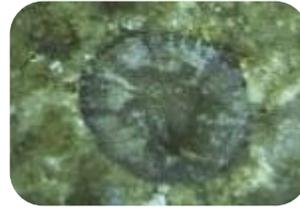
Palythoa



Lebrunia



Parazoanthus



Actinoporus

Polychaeta



Spirobranchus



Sabellastrarte

Cirripedia



sp. 9



sp. 10

Phylloporidae



sp. 11



sp. 12

Asciacea



Eudistoma



Eudistoma



Eudistoma



Fam.
Didemnidae



Fam.
Clavelinidae



Symplegma

ANEXO 3

Pruebas de Mann-Whitney comparando cada arrecife para ambas temporadas

Arrecifes GN	U	p	Arrecifes GS	U	p
HO _{secas} vs HO _{lluvias}	24.5	0.95	BL _{secas} vs BL _{lluvias}	23	0.9
GL _{secas} vs GL _{lluvias}	17	0.36	CH _{secas} vs CH _{lluvias}	19	0.50
IS _{secas} vs IS _{lluvias}	23	0.9	IE _{secas} vs IE _{lluvias}	23.5	0.95
PJ _{secas} vs PJ _{lluvias}	15.5	0.27	CA _{secas} vs CA _{lluvias}	24.5	0.95
IV _{secas} vs IV _{lluvias}	13	0.13	AF _{secas} vs AF _{lluvias}	21	0.65

ANEXO 4

Pruebas de Mann-Whitney comparando los grupos arrecifales y el SAV para ambas temporadas

	U	p
GN _{secas} vs GN _{lluvias}	21.5	0.75
GS _{secas} vs GS _{lluvias}	13	0.16
SAV _{secas} vs SAV _{lluvias}	27	0.09
GN _{total} vs GS _{total}	15	0.24

ANEXO 5

Pruebas de Mann-Whitney comparando los arrecifes para la temporada de secas. Presentándose en la parte de arriba de la matriz el valor de p y en la parte de abajo el valor de U del estadístico

Arrecifes	HO	GL	IS	PJ	IV	BL	CH	IE	CA	AF
HO	-	0.22	0.61	0.14	0.04	0.52	19.5	0.4	0.12	0.09
GL	14.5	-	0.65	0.6	0.2	0.8	0.75	0.95	0.65	0.59
IS	20	20.5	-	0.51	0.13	0.9	1	0.84	0.4	0.42
PJ	12.5	20	19	-	0.48	0.3	0.51	0.84	0.89	0.78
IV	8.5	14.5	13	9	-	0.04	0.36	0.36	0.44	0.65
BL	19	22	23	16	9	-	0.9	0.85	0.33	0.36
CH	0.56	21.5	24	19	17.5	23	-	0.85	0.47	0.38
IE	17.5	23.5	22.5	22.5	17.5	22.5	22.5	-	0.79	0.58
CA	12	20.5	17.5	23	18.5	16.5	18.5	22	-	0.89
AF	11	20	18	22	21	17	17.5	20	23	-

Los valores en negritas son pruebas en las cuales la diferencia es significativa

ANEXO 6

Pruebas de Mann-Whitney comparando los arrecifes para la temporada de lluvias. Presentándose en la parte de arriba de la matriz el valor de p y en la parte de abajo el valor de U del estadístico

Arrecifes	HO	GL	IS	PJ	IV	BL	CH	IE	CA	AF
HO	-	0.7	0.95	1	1	0.51	0.24	0.25	0.11	0.04
GL	21	-	0.9	1	0.95	0.75	0.5	0.7	0.3	0.17
IS	23.5	23	-	0.95	1	0.95	0.42	0.6	0.36	0.17
PJ	24	24	24	-	0.75	0.52	0.43	0.52	0.11	0.62
IV	24	23.5	23.5	21.5	-	0.6	0.42	0.65	0.24	0.13
BL	19	21.5	21	19	20	-	0.51	0.8	0.51	0.22
CH	15	19	18	18	18	19	-	0.51	1	0.66
IE	15	21	20	19	20.5	22	19	-	0.79	0.28
CA	12	16	17	11.5	15	19	24	22	-	0.44
AF	9	14	14	10	13	15	21	16	18.5	-

Los valores en negritas son pruebas en las cuales la diferencia es significativa

ANEXO 7

Pruebas de Mann-Whitney comparando los arrecifes para ambas temporadas. Presentándose en la parte de arriba de la matriz el valor de p y en la parte de abajo el valor de U del estadístico

Arrecifes	HO	GL	IS	PJ	IV	BL	CH	IE	CA	AF
HO	-	0.3	0.61	0.52	0.37	0.12	0.33	0.26	0.09	0.038
GL	16	-	0.8	0.7	0.95	0.9	0.85	0.9	0.75	0.26
IS	20	22	-	1	0.95	0.9	0.75	0.65	0.52	0.21
PJ	19	21	24	-	0.9	0.75	0.75	0.56	0.44	0.14
IV	17	23.5	23.5	23	-	0.8	0.95	1	0.6	0.29
BL	12	23	23	21.5	22	-	0.85	0.7	0.95	0.3
CH	16.5	22.5	21.5	21.5	23.5	22.5	-	0.95	0.85	0.35
IE	15.5	23	20.5	19.5	24	21	23.5	-	0.9	0.32
CA	11	21.5	19	18	20	23.5	22.5	23	-	0.5
AF	8	15.5	14.5	12.5	16	16	17	16.5	19	-

Los valores en negritas son pruebas en las cuales la diferencia es significativa