



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**



Facultad de Estudios Superiores Iztacala

**Composición bioclástica de los sedimentos biogénicos del
arrecife Hornos, Sistema Arrecifal Veracruzano**

TESIS

Que para obtener el título de

BIÓLOGA

Presenta:

Ana Laura Pantoja Vázquez

Director de tesis: Dr. Guillermo J. Horta Puga



Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Edo. Méx. 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

En primer lugar a mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, por su incondicional apoyo a través del tiempo, y quienes han sido la guía y el camino para poder llegar a este punto de mi carrera.

A mi papá, por desear y anhelar siempre lo mejor para mi vida, por cada consejo y por cada una de tus palabras que me guiaron, así como sus ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y me ha infundido siempre, además de los valores mostrados para salir adelante y por su amor.

A mi mamá, por ser la persona que siempre me ha levantado los ánimos tanto en los momentos difíciles de mi vida estudiantil como personal, que se ha preocupado por mí en todo momento y me ha impulsado a seguir adelante. Gracias por tu paciencia y esas palabras sabias que siempre tienes para mis enojos, mis tristezas y mis momentos felices, por ser mi amiga y ayudarme a cumplir mis sueños, te quiero mucho.

A mis maestros, aquellos que marcaron una etapa en mi camino universitario.

Al Dr. Guillermo J. Horta Puga, director de tesis, mi más amplio agradecimiento por haberme confiado este trabajo, por su valiosa dirección y apoyo para seguir este camino.

A mis sinodales, al Dr. Rafael Andrés Cabral Tena, M. en C. Francisco López Galindo, Dr. Daniel Jesús Muñoz Iniesta y al Biol. Arnulfo Reyes Mata, por la orientación y todas las sugerencias recibidas para poder mejorar esta tesis.

A mis familiares.

A mi tía Susana y tío Jorge por todo el apoyo brindado a lo largo de mi vida y demostrarme que puedo con esto y más. A mi tía Elvira por todos esos momentos de alegría y por ser un ejemplo de vida y fortaleza.

A mis compañeros de la Bodeguita Arrecifal, en especial a Jhoan por su cariño incondicional gracias por apoyarme para continuar y nunca renunciar, además de demostrarme que siempre podré contar con él.

A Alex, sobre todo por la amistad brindada, así como por el conocimiento y apoyo que siempre me brindo.

Y finalmente a mis amigos Naye y Javier, que gracias al equipo que formamos logramos llegar hasta el final del camino.

A todos ellos por llenar mi vida de grandes momentos que hemos compartido.

INDICE GENERAL

Introducción	5
Marco teórico.....	5
Antecedentes	10
Objetivo general.....	11
Objetivos particulares.....	11
Materiales y métodos	12
Área de estudio	12
Trabajo en campo	14
Composición química de la muestra.....	15
Granulometría.....	15
Carbonatos	16
Materia orgánica	17
Material siliciclástico	18
Composición bioclástica de los sedimentos carbonatados	19
Resultados	20
Composición bioclástica	20
Análisis químicos	26
Discusión	27
Conclusión	33
Literatura citada	34
ANEXO 1	42

Introducción

Marco teórico

Los arrecifes constituyen, desde el punto de vista sedimentario, sistemas de depósitos bien conservados con gran multitud de esqueletos de organismos marinos. Al definir al arrecife, se puede decir que se trata de un ecosistema marino en el que una parte significativa de sus componentes son depósitos calcáreos formados *in situ* por organismos sésiles. Los constructores de arrecifes, según la definición, deben vivir fijos y crecer sobre un sustrato (sésiles), y producir esqueletos mineralizados que posibiliten la formación de una estructura con un cierto relieve por encima del fondo del mar (Figura 1). Así consideramos a los corales escleractinios como los principales constructores de la formación arrecifal, debido a que el esqueleto del coral vivo crece sobre los restos coralinos de generaciones pasadas, en algunos casos de decenas de cientos o miles de años atrás constituyendo la base de dicha estructura (Birkeland 1997). Otros organismos calcáreos, como las algas, contribuyen a unir los sedimentos y a cementar la estructura del arrecife, además de foraminíferos y numerosos moluscos que aportan materia calcárea a la construcción del arrecife (Littler y Littler 1985, Connell 1978). Así, definimos como roca coralina, los clastos de origen biológico, restos de esqueletos y conchas de diversos organismos, que son el bloque de construcción con los que se edifica el arrecife de coral (Scholle 1978, Tucker y Wright 1990, Scholle y Ulmer-Scholle 2003). Las algas coralinas también contribuyen enormemente a la construcción del arrecife, pueden depositar más carbonato de calcio que los corales mismos (Littler y Littler 1985) y constituyen el cemento que mantiene unido al arrecife, ya que se van generando capas de carbonato de calcio proporcionando un sustrato duro, favorable para el asentamiento de los corales o algunos otros invertebrados (Figura 1), asimismo están los rodolitos que son organismo de vida libre y cuya estructura se compone principalmente (>50%) de algas coralina (Foster 2001), considerados como componentes ecológicos y geológicos muy importantes, debido al considerable aporte de carbonato de calcio,

llegando a formar “mantos de rodolitos” cuando sus valores de cobertura superan el 10% del sustrato (Littler et al. 1991, Riosmena-Rodríguez et al. 2007)



Figura 1. Estructura del arrecife coralino y alga coralina

La roca coralina a través del tiempo se va desgastando por un conjunto de factores biológicos y químicos, pero, los procesos físicos (energía de las olas) son considerados el mecanismo dominante en la alteración de los arrecifes de coral (Figura 2), debido a la erosión por el oleaje que provoca el desgaste y fragmentación de la roca coralina facilitando en gran medida la producción de sedimento (Harney y Fletcher 2003). Otro proceso de importancia es la bioerosión, que se define como la corrosión de sustratos duros por agentes vivos (terminología de Neumann 1966) y juega dos papeles clave en los arrecifes: 1) debilitan el sustrato, lo que hace más susceptible la erosión física y química; y 2) pueden producir, como un subproducto, grandes cantidades de sedimento (MacGeachy y Stearn 1976, Warme 1977, Scoffin 1992). La bioerosión se ve facilitada por la fauna asociada a los arrecifes, entre los principales bioerosionadores se encuentran el pez loro (fam. Scaridae), equinoideos ramoneadores (*Echinometra sp.*), esponjas cliónidas (*Cliona sp.*), bivalvos litófagos (*Lithophaga sp.*) y algas endolíticas (Edinger 2000, Perry y Hephurn 2008), que fragmentan la roca coralina hasta la formación de partículas o granos de tamaño fino (bioclastos). En los arrecifes coralinos existen diversos organismos que residen entre las colonias de coral, que al morir, contribuyen, total o parcialmente con sus esqueletos calcáreos, a la formación de sedimento. (Schuhmacher 1978).

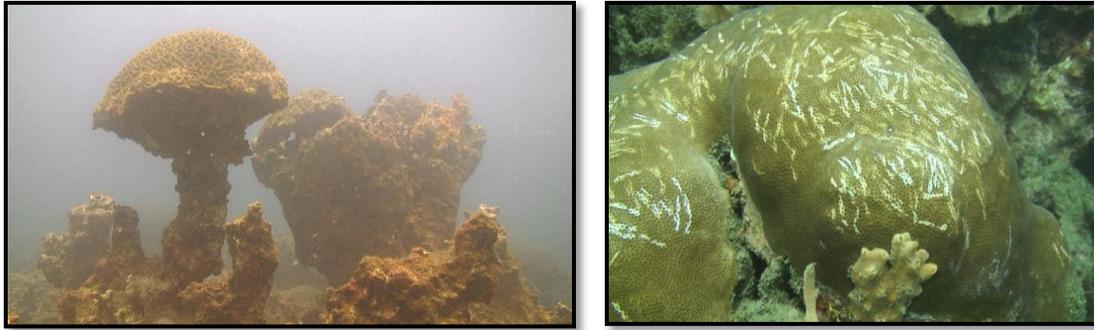


Figura 2. Erosión física y biológica de la roca coralina

Después de la producción, los sedimentos bioclásticos pueden ser exportados fuera del arrecife (Hughes 1999, Morgan y Kench 2014), o depositarse en los espacios formados por grandes fragmentos de coral (Gischler y Lomando 1999; Rankey et al. 2011, Dawson et al. 2014, Harris et al. 2014), los cuales pueden permanecer agrupados con ayuda de las algas calcáreas incrustantes, ya que mantienen al sedimento cementado en un lugar fijo, estas algas formadoras de arrecifes pueden llegar a contrarrestar la erosión del arrecife ocasionada por el oleaje (Lehman 2010). Así, los sedimentos en los arrecifes de coral son de origen biológico calcáreo (sedimento biogénico), que consisten generalmente por una variedad de fragmentos de esqueletos y conchas de organismos asociados a los arrecifes (Figura 3 y 4). Por lo tanto, los sedimentos representan restos directos de corales, algas calcáreas, foraminíferos, esponjas, moluscos, equinodermos, entre otros (Novak et al. 1992, Stearn et al. 1977, Perry et al. 2011, Kench et al. 2012).



Figura 3. Sedimento biogénico en arrecifes



Figura 4. Fauna asociada a arrecifes coralinos, cuyos esqueletos contribuyen a la formación del sedimento

El Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) es por mucho el área de arrecifes coralinos más extensa en el Golfo de México, por su superficie de 52,238 ha, que se extiende frente a las costas de los Municipios de Veracruz, Boca del Río y Alvarado. Está constituido por un conjunto de más de 23 arrecifes coralinos, el cual es dividido en un Grupo Norte y Grupo Sur por la desembocadura del río Jamapa que descarga sus aguas y materiales suspendidos en las proximidades de la zona (Carricart-Ganivet y Horta-Puga 1993 y Vargas-Hernández et al. 1993). El SAV es un ambiente de sedimentación terrígena (Morelock y Koenig 1967), siendo el río Jamapa la principal fuente de materiales siliciclásticos, así, en un ambiente de depositación de materiales bioclásticos carbonatados como lo es el ecosistema arrecifal, también se presenta una proporción de materiales derivados del continente que varía en función del grado de influencia de la pluma fluvial del río Jamapa, entre otros factores como la cercanía a la costa (Carranza-Edwards et al. 1993).

El arrecife Hornos (perteneciente al SAV) ha sido utilizado por el hombre como un área de obtención de recursos pesqueros desde tiempos prehispánicos (Lezcano et al 2014). Las primeras construcciones de la ciudad de Veracruz fueron de madera, sin embargo, la necesidad de tener mejores construcciones y ante la ausencia de materiales de construcción adecuados se utilizó la roca coralina, conocida como Piedra Múcar, que se encontraba en abundancia en los arrecifes. La roca coralina viva o muerta se extrajo por miles de toneladas con la que fueron contruidos más de 1000 edificios. De igual forma, la roca coralina se utilizó para la producción de cal que también fue utilizada durante el proceso de construcción. Los hornos de cal se ubicaron fuera de la ciudad, en la explanada junto al arrecife que hoy deriva su

nombre a la existencia de estos hornos desde el siglo XVIII (Lerdo de Tejada 1850 y Carricart-Ganivet 1998).

Durante las décadas de los 1940s y 1950s, en el arrecife Hornos se construyó el antiguo Acuario de Veracruz, la Escuela Náutica Mercante y el Muro de Pescadores (FIDENA 2011). Para inicios de la década de los 1990s, se construyó el actual Acuario de Veracruz, al extremo sur del arrecife. Muy probablemente toda esa actividad de construcción influyó negativamente en el arrecife Hornos, aunque no se tiene registro del daño causado. En un principio el arrecife Hornos estaba considerado dentro del polígono del SAV (Diario Oficial de la Federación 1992), sin embargo, debido a errores de delimitación precisa, parte del arrecife quedó fuera del polígono establecido por el Decreto Presidencial. Este vacío legal facilitó la aprobación de la construcción de la nueva marina, Marina Veramar en 2010 la cual se ubicó directamente sobre la planicie del arrecife. Para su edificación se construyó un rompeolas al oeste usando 28,000 m³ de bloques de concreto; se dragó 2.9 Ha del arrecife en donde se removieron 58,000 m³ de sedimentos biogénicos arrecifales, hasta alcanzar una profundidad de 2.4 m de dársena y 3.5 m en el canal de navegación y se construyeron tres muelles flotantes con numerosos puntos de ataque, además de ganarle terreno al mar. En la actualidad se encuentra afectado por el continuo dragado ejercido para mantener un canal central por donde transitan los botes de los pescadores a los muelles, esto ocasiona que la laguna alcance hasta 5 m de profundidad y se encuentre muy alterada ecológicamente, la descarga de afluentes pluviales, el tráfico de embarcaciones menores, así como el turismo, además del impacto directo del hombre por su accesibilidad, ya que está constituido básicamente por una barrera de corales ya muertos en su mayoría, que ha sido grandemente perforada por anélidos y pelecípodos, así como grupos de erizos en su porción interna (Lot-Helgueras 1971, Horta-Puga y Tello-Musi 2009, Paredes-Lugo 2014).

Antecedentes

Hasta la fecha no se han realizado estudios que estén enfocados a conocer la composición biológica de los bioclástos sedimentarios del SAV y cuál es el aporte de sedimentos de las descargas fluviales en los sistemas arrecifales, o en qué proporción están presentes, además existen pocos trabajos realizados en México y otras partes del mundo. Dentro de estos trabajos, se encuentra el de Nolasco-Montero y Carranza Edwards (1987) y Novak et al. (1992) donde analizaron la composición biogénica de los sedimentos y caracterizaron la textura en playas de Yucatán, encontrando que la composición de sedimentos biogénicos están constituidos principalmente por foraminíferos bentónicos y planctónicos, pelecípodos, briozoarios, moluscos, corales, espinas de equinodermos y de esponjas, tubos de anélidos, ostrácodos y algas. Igualmente, pero en otras regiones del mundo se encuentran los trabajos de Bernal et al. (2006) en Bancos de Salmedina, Colombia, Betzler et al. (2015) y Perry et al. (2015) en el archipiélago de las Maldivas, Weinstein et al. (2015) y Gischler et al. (2017) en Dry Tortugas, Florida; que analizaron la composición de partículas terrígenas y calcáreas biogénicas de fracciones de arena, donde los principales componentes biogénicos fueron gasterópodos, foraminíferos bénticos, fragmentos de *Halimeda*, algas rojas, equinodermos, ostrácodos, escleritos, briozoos y como grupo predominante coral. Mientras que en la Gran Barrera Australiana Dawson y Smithers (2014), realizaron un estudio donde analizaron los tipos y distribución de sedimentos mediante la textura, composición y características taxonómicas en arrecifes plataforma, caracterizando los sedimentos en 18 grupos, encontrando que los foraminíferos son los que dominan con más del 50%, el segundo bioclásto más dominante es el coral constituyendo el 27% del sedimento, y en tercer lugar los moluscos con el 13%. En Hawaii se demostró que los restos de alga calcárea y coralina son los que dominan los sedimentos, donde Harney et al. (2000) encontraron que los sedimentos están dominados por fragmentos de esqueleto de alga coralina (50%), seguido de algas verdes calcáreas *Halimeda sp.* (32%); Calhoun y Field, (2008) demostraron que el alga calcárea se presenta en una proporción de 50% en sedimentos arrecifales; en el Archipiélago de Spermonde, Indonesia, Janßen et al. (2017) observaron la

composición del sedimento superficial de cuatro islas, encontrando que en tres de ellas los fragmentos que predominan son de alga coralina (39.5%, 33.8% y 60.1%) y en la restante el coral es el principal componente (39.5%). Por otro lado Wilson (1979) en sedimentos del Atlántico encontró que los moluscos, en su mayoría restos de bivalvos, son el componente que está en mayor cantidad, al igual en el Océano Indico. Zinke et al. (2005) encontraron que el conjunto de bioclásticos que predomina son los moluscos, tanto bivalvos como gasterópodos se encontraron en igual proporción.

Por lo anterior surgen las siguientes preguntas: ¿Qué grupo de organismos contribuyen a la formación de los sedimentos bioclásticos en el arrecife Hornos? y ¿Cuál es el grado de contribución de cada grupo biológico a la formación de los sedimentos en el arrecife Hornos?

Objetivo General

Determinar la contribución de la fauna asociada a arrecifes a la formación de los sedimentos biogénicos de la zona de planicie arrecifal en el arrecife Hornos, Sistema Arrecifal Veracruzano

Objetivos particulares

1. Determinar al nivel taxonómico más bajo posible de la bioclastos (coral, moluscos, equinodermos, esponjas, briozoos, foraminíferos, algas calcáreas, etc.) que contribuyen a la formación de los sedimentos biogénicos del arrecife Hornos
2. Determinar la abundancia relativa de cada grupo taxonómico en el sedimento biogénico del arrecife Hornos
3. Determinar algunas características físicas del sedimento, así como una clasificación de los bioclastos, en función de sus componentes químicos.

Materiales y métodos

Área de estudio

El Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) es el área de arrecifes coralinos más extensa en el Golfo de México, tiene una superficie de 52,238 ha, que se extiende frente a las costas de los municipios de Veracruz, Boca del Río y Alvarado. El SAV está constituido por más de 23 arrecifes coralinos, el cual es dividido en grupo Norte y grupo Sur por la desembocadura del río Jamapa que descarga sus aguas y materiales suspendidos en las proximidades de la zona (Carricart-Ganivet y Horta-Puga 1993 y Vargas-Hernández *et al.* 1993). Dentro del grupo Norte del SAV, se encuentra el arrecife Hornos, un arrecife de tipo costero, constituido por las siguientes estructuras geomorfológicas claramente diferenciadas (Figura 5): talud de barlovento o arrecife frontal, planicie y cresta arrecifal (Lara *et al.* 1992). Se encuentra localizado aproximadamente en las coordenadas 19° 11' 28"N y 96° 07' 15" W (Figura 6) abarca 1 km de costa y en su parte más ancha mide 250m (Carricart-Ganivet y Horta-Puga 1993). Directamente sobre la planicie arrecifal de Hornos se encuentra construida la Marina Veramar que comprende un área total de 95,160 m², de los cuales 81,446 m² corresponden a territorio marino y 13,713 m² corresponden a terreno ganado al mar. Hornos colinda al Norte con la Escuela Náutica Mercante Fernando Siliceo, al Oeste con la vialidad Boulevard Manuel Ávila Camacho, al Sur con el centro comercial Plaza Acuario y al Este con el Golfo de México. El arrecife Hornos está constituido por un banco de bioclastos calcáreos, de origen coralino pertenecientes al Holoceno (Emery 1963). Los sedimentos del arrecife son de origen biogénico y terrígeno, principalmente por la desembocadura del río Jamapa que se ubica a 10 km de este arrecife y tiene un importante aporte de sedimentos a las costas de Veracruz, con materiales erosionados del continente (Horta-Puga 2017). El tipo de clima de la zona de estudio según la clasificación de Köppen, modificada por García (2004) es Aw₁ (w)e. Este tipo de clima es cálido, subhúmedo, con lluvias de verano y sequía en invierno. La temperatura promedio mensual en la zona es de 21.3°C, mientras que la precipitación promedio en la zona conurbada Veracruz-Boca del Río, Ver., varía entre los 14.1 mm en Marzo y los

373.6 mm en junio, con un total anual de 1,676.6 mm. El régimen de mareas en la zona de estudio es de tipo diurno. Las corrientes en el SAV fluyen en general al Norte en verano y hacia el Sur en invierno (Carrillo et al. 2007).

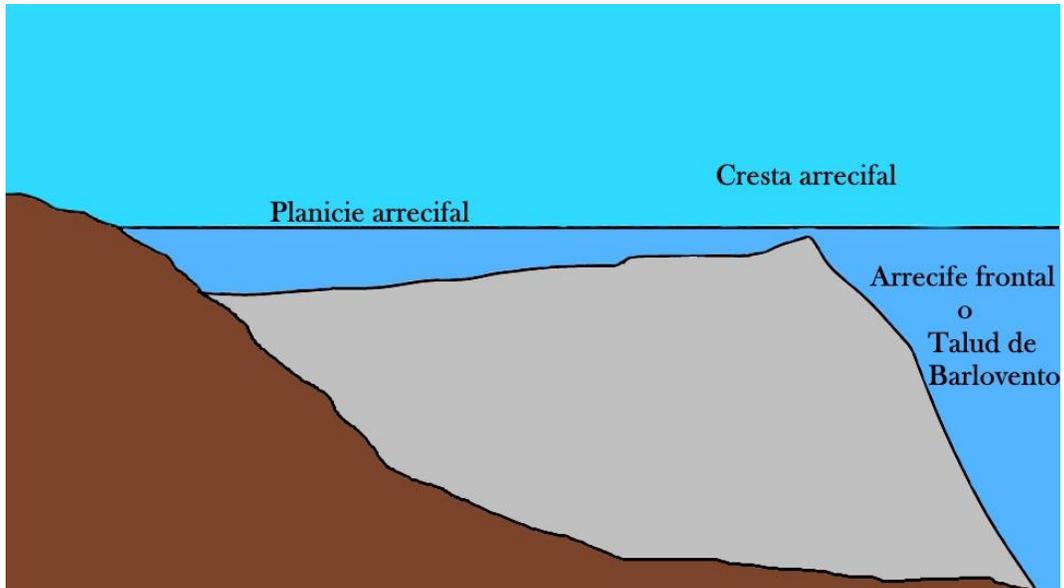


Figura 5. Estructuras geomorfológicas del arrecife costero



Figura 6. Sistema Arrecifal Veracruzano. El recuadro verde marca la posición del área de estudio (Extraído de Arrecifes Coralinos del Sur del Golfo de México).

Trabajo en campo

Para determinar la composición bioclástica se colectó una muestra de sedimento en Septiembre del 2015, la colecta se realizó de manera manual en la planicie arrecifal (Figura 7), con ayuda de equipo de buceo libre (visor, snorkel y aletas) a una profundidad aproximada de 2 m, extrayendo el sedimento superficial (primeros 5 cm) con una pala de plástico para obtener un kilo de sedimento (Figura 8), el que se colocó en bolsas de polietileno. El muestreo de este trabajo se llevó a cabo gracias al proyecto CONABIO GM005.



**Figura 7. Arrecife Hornos, indicando punto de colecta (Google Earth.
Consultado: 05/08/2017)**



Figura 8. Trabajo en campo, colecta de sedimento en el punto de muestreo

Composición química de la muestra

La muestra de sedimento fue secada en un horno a 60°C, posteriormente se tamizó (luz de malla de 2mm) para separar gravas y obtener la fracción fina del sedimento, con la que posteriormente se realizaron los análisis físicos y químicos a la muestra (granulometría, carbonatos, materia orgánica y material siliciclástico).

Granulometría: Se determinó la granulometría, por el método de tamizado (Wentworth 1922), tomando una alícuota de 250 g de muestra seca, haciéndola

pasar por una serie de 9 tamices (USA Standard testing sieve por FISHER SCIENTIFIC COMPANY) en agitación con diferente apertura de malla (número de malla 18, 30, 50, 60, 80, 100, 150, 230 y 270), de manera que las fracciones pudieran ser separadas en función de su tamaño, pesarlas y determinar la distribución del sedimento (Figura 9).

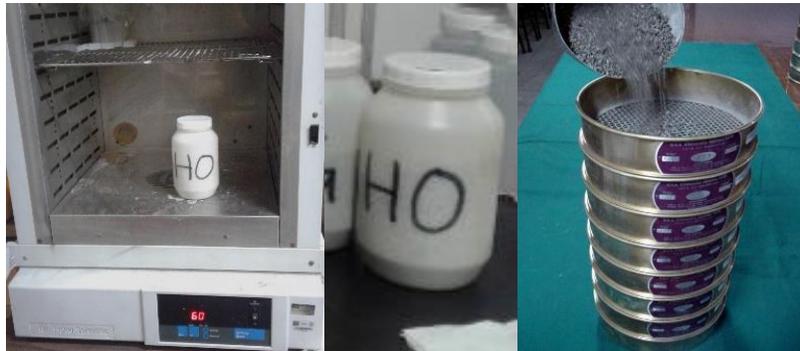


Figura 9. Muestras de sedimento secas y etiquetadas, HO: Hornos; tamizaje de las muestras

Carbonatos: Los carbonatos al ser tratados con un ácido fuerte en un sistema cerrado bajo condiciones constantes de volumen y temperatura, ocasionan un aumento de presión en el sistema, el cual está relacionado linealmente con el contenido de CO_2 producto de la reacción entre los carbonatos y el ácido. Para establecer la cantidad de gas desprendido, y por lo tanto, la concentración de CO_2 , se mide el volumen de agua de una columna que es desplazada por el aumento de presión. Dicho volumen se compara con el volumen de agua que desplaza una cantidad conocida de carbonato de calcio (CaCO_3) y se obtiene el valor de carbonatos en el suelo. Se determinó el contenido de carbonatos en los sedimentos por método gasométrico de Horton y Newson (1953), explicado en Muñoz-Iniestra et al. (2013). Se pesó 0.1 g de carbonato anhidro (que sirve como blanco), para obtener la cantidad conocida de CaCO_3 , con 5 ml de ácido clorhídrico (HCl) 6N en un matraz y sellándolo perfectamente (para que la reacción se complete es necesario agitar el matraz observando el desplazamiento del agua). Una vez que todo el CaCO_3 reaccionó por completo, se midió el volumen de agua desplazada

con la mayor exactitud posible (Figura 10). Para sustituir el blanco con la muestra se utilizó una alícuota de 0.5 g (tomando en cuenta que los sedimentos son de origen calcáreo, de lo contrario hubiera sido necesario pesar de 2 a 3 g de muestra). El porcentaje de carbonatos en la muestra de sedimento se calculó usando la fórmula para determinación de carbonatos.

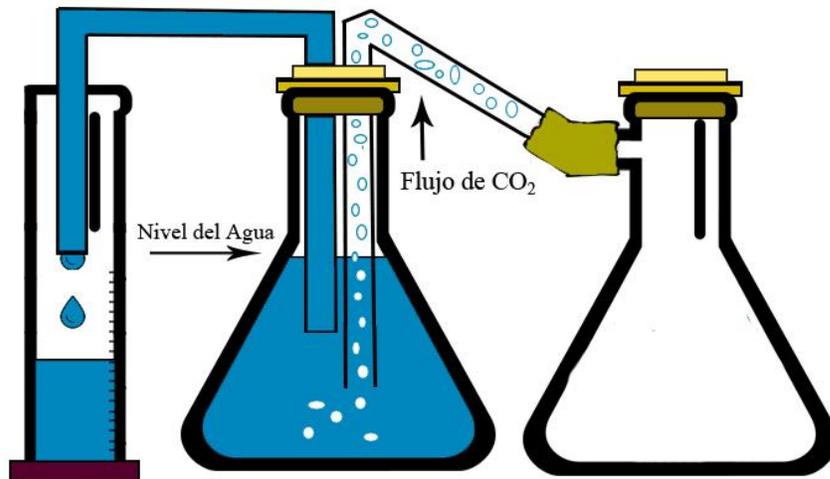


Figura 10. Diagrama del dispositivo utilizado para la determinación de carbonatos por el método gasométrico

Materia orgánica: La materia orgánica del suelo se oxida mediante el calor de la reacción del dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) en presencia del ácido sulfúrico (H_2SO_4), formando ácido crómico (H_2CrO_4) cuyo exceso es valorado por titulación con sulfato ferroso ($FeSO_4$) y el indicador difenilamina. Además, se adiciona ácido fosfórico (H_3PO_4) para eliminar la reacción ocultante de los ácidos de hierro y como atribuyente al viraje de la solución. La determinación de materia orgánica en los sedimentos se realizó mediante el método de oxidación con H_2CrO_4 y H_2SO_4 , desarrollado por Walkley y Black (1947), la muestra fue colocada en un matraz Erlenmeyer a la que se agregó 5 ml de solución de $K_2Cr_2O_7$ 1N, con ayuda de una probeta se agregó lentamente 10 ml de H_2SO_4 resbalándolo por las paredes; la reacción es exotérmica (por lo que el matraz se empieza a calentar), dejando reposar durante 30 minutos. Pasado ese tiempo se agregó 100 ml de agua destilada

y 5 ml de H_3PO_4 concentrado y como indicador se agregaron de 5 a 6 gotas de difenilamina, para posteriormente titular con solución de $FeSO_4$ 0.5N. Durante la titulación la secuencia de cambio de color al vire final fue la siguiente: negro, verde muy oscuro, azul y finalmente verde esmeralda.

Se pesó una alícuota de 0.5 g de muestra de sedimento basándonos en el color (al ser más oscura, mayor porcentaje de materia orgánica), ya que de ser muy evidente la presencia de materia orgánica la alícuota debería ser de menor peso,

Los resultados obtenidos se sustituyeron en la fórmula para obtener el porcentaje de materia orgánica en la muestra de sedimento.

Material siliciclástico: Para la determinación del material siliciclástico (fracción mineral) en la muestra de sedimento arrecifal se tomó una alícuota de 2 g de muestra seca, colocándola en un vial de centrifuga de polietileno de 60 ml, agregando lentamente 5 ml de HCl al 50%, el ácido disolverá al carbonato de calcio y pasados 15 minutos de reacción se agregaron 15 ml de agua desionizada para después centrifugar a 5000 rpm 30 minutos, el sobrenadante fue eliminado y se repitió por duplicado los pasos. El residuo del último centrifugado se dejó secar en estufa a 60° C por 48 hrs, ya seco se transfirió cuidadosamente a un crisol de aluminio para calcinarlo en una mufla a 450-500° C por 2 hrs, el residuo frío, se volvió a transferir a un vial de centrifuga agregando 15 ml de agua desionizada para centrifugarla dos veces más, por último, se dejó secar el residuo a 60° C por 48 hrs. y se pesó el contenido final. La cantidad de material siliciclástico se calculó con la diferencia en peso inicial y final.

Composición bioclástica de los sedimentos carbonatados

La muestra de sedimento fue tamizado ($\varnothing = 2$ cm), para eliminar gravas y guijarros, así como fragmentos grandes que no forman parte del sedimento arrecifal. Se separaron 3 alícuotas de 20 ± 0.01 g (Figura 11). Cada una fue colocada en una caja petri y con ayuda de un microscopio estereoscópico y fueron separados cada uno de los fragmentos correspondientes a cada grupo biológico encontrado.

Es importante señalar que el tiempo invertido bajo el microscopio por muestra fue de 20 días considerando un tiempo diario de observación de 5 horas. Una vez separado los fragmentos correspondientes a cada grupo, se pesaron con una precisión de ± 0.001 g, y se determinó su proporción.



Figura 11. a) Muestras de 20 g tamizadas para el análisis (HO= Hornos 3 repeticiones); b) y c) separación de fragmentos de sedimento con ayuda del microscopio estereoscópico; d) fragmentos de sedimento separados en grupos

Resultados

Composición bioclástica

En la determinación de la composición biológica del sedimento arrecifal del arrecife Hornos se tomaron en cuenta 11 grupos biológicos enlistados a continuación. La Figura 12 muestra imágenes que ilustran la variabilidad observada de organismos que contribuyen a la formación de los sedimentos biogénicos arrecifales.

1. Corales: Incluye escleractinios (Cnidaria, Anthozoa, Hexacorallia, Scleractinia) y estilasterinos (Cnidaria, Hydrozoa, Hydroidolina, Filifera, Stylasteridae) (ANEXO 1, apartado Corales).
2. Gasterópodos: Incluye caracoles y organismos afines (Mollusca, Conchifera, Gastropoda) (ANEXO 1, apartado Moluscos).
3. Bivalvos: Incluye pelecípodos y organismos afines (Cardidos, Venéridos, Pinnidos) (ANEXO 1, apartado Moluscos)
4. Equinoideos: Incluye organismos Equinodea (Diadematoide, Echinometride) (ANEXO 1, apartado Equinoideos)
5. Asteroideos: Incluye principalmente restos de esqueleto (Echinodermata, Asteroidea) (ANEXO 1, apartado Equinoideos)
6. Alga calcárea: incluye *Halimeda* (Chlorophyta, Ulvophyceae, Bryopsidales) (ANEXO 1, apartado Alga calcárea)
7. Foraminíferos: Incluye *Homotrema* (Foraminifera, Rotaliida, Homotrematide) y otros foraminíferos (ANEXO 1, apartado Foraminíferos)
8. Crustáceos: Incluye fragmentos principalmente quelas (Arthropoda, Crustacea) (ANEXO 1, apartado Crustáceos)
9. Anélidos: Incluye principalmente tubos calcificados de serpúlidos (*Annelida, Polychaeta, Sabellida, Serpulidae, Hydroides*) (ANEXO 1, apartado Anélidos)
10. Otro: Estructura de organismo que no se pudo identificar (ANEXO 1, apartado Otro)

11. Aglomerado de organismos: son restos de diferentes organismos que se encuentran unidos, formando una sola partícula de sedimento (ANEXO 1, apartado Aglomerado de organismos)



Figura 12 (página anterior). Variabilidad observada de los organismos que forman el sedimento arrecifal. Coral: a y b) coral escleractinio, c) estilasterino. Equinodermos: d) espina de erizo, e) placa ambulacral, f) esqueleto de asteroideo. Moluscos: g y h) gasterópodos, i) pelecípodos. Foraminíferos: j-n) otros foraminíferos, o) *Homotrema sp.* Crustaceos: p-r) quelas de crustáceos. Anélidos: s-u) tubos de serpulidos. Otro: v). Aglomerado: w). Alga coralina: x) *Halimeda sp*

La tabla 1 muestra el peso y porcentaje por repetición de los grupos biológicos, así como el promedio total y su respectiva desviación estándar, observando que el alga coralina (*Halimeda sp.*) presenta el promedio (55.1) y los porcentajes más altos; para el grupo de moluscos, los fragmentos de bivalvos (9.7) son los que contribuyen en mayor medida, seguido de los gasterópodos (2.5); en equinodermos, las espinas de erizo son los de mayor promedio total (3.5) seguido de partes de esqueletos de asteroideos (0.2); mientras que los foraminíferos, *Homotrema sp.* presentan 4.7 de promedio. Dentro de los grupos biológicos se consideró el de “otro”, donde está presente una estructura que no pudo ser identificada. En cada uno de los grupos biológicos se observa gran variación en los porcentajes, debido a que la muestra es muy heterogénea, donde podemos encontrar fragmentos muy grandes en comparación con los más pequeños, un claro ejemplo es el caso de los moluscos, donde se encontró gran cantidad de gasterópodos, pero el tamaño de los bivalvos fue más alto, por lo que al momento de pesarlos presentaron mayor peso y porcentaje, de igual manera esto se ve reflejado en las amplias desviaciones estándar. Observando lo mismo para el grupo de foraminíferos, donde *Homotrema* está presente con fragmentos de mayor tamaño, mientras que la mayoría de otros foraminíferos miden <1mm.

Tabla 1
Composición biológica del sedimento arrecifal

Grupos biológicos		1		2		3		Promedio
		Peso	(%)	Peso	(%)	Peso	(%)	
Alga coralina	Halimeda sp	11.6	65.0	8.9	46.9	9.8	53.3	55.1 ± 9.2
Moluscos	Gasterópodos	0.2	1.0	0.9	4.5	0.4	2.0	2.5 ± 1.8
	Bivalvos	0.7	4.1	2.9	15.3	1.8	9.8	9.7 ± 5.6
Coral	Coral escleractinios	1.5	8.1	1.4	7.6	1.9	10.5	8.8 ± 1.5
	Estilasterino	0.0	0.0	0.002	0.0	0.001	0.0	0.01 ± 0.01
Foraminíferos	Homotrema sp	0.4	2.3	1.2	6.5	1.0	5.2	4.7 ± 2.2
	Otros foraminíferos	0.004	0.02	0.0003	0.002	0.004	0.02	0.01 ± 0.01
Equinodermos	Espinas de erizo	0.6	3.2	0.7	3.7	0.7	3.6	3.5 ± 0.3
	Asteroideos	0.1	0.3	0.02	0.1	0.01	0.04	0.2 ± 0.2
Crustáceos	Quelas	0.03	0.2	0.03	0.2	0.04	0.2	0.2 ± 0.04
Anélidos	Serpúlidos	0.03	0.2	0.04	0.2	0.04	0.2	0.2 ± 0.02
Otro	Otros	0.0	0.0	0.00	0.0	0.002	0.01	0.003 ± 0.01
Aglomerado	Aglomerado	0.1	0.5	0	0.0	0	0	0.2 ± 0.3

La figura 13 muestra el porcentaje de cada uno de los grupos biológicos por repetición, observando que el grupo dominante es *Halimeda*, seguido de los moluscos, donde los bivalvos presentan un mayor porcentaje sobre los gasterópodos, y en cuarto sitio se encuentra el coral, los grupos con porcentajes <1% son otros foraminíferos, estilasterino, otro y conglomerado, así para cada una de las tres repeticiones.

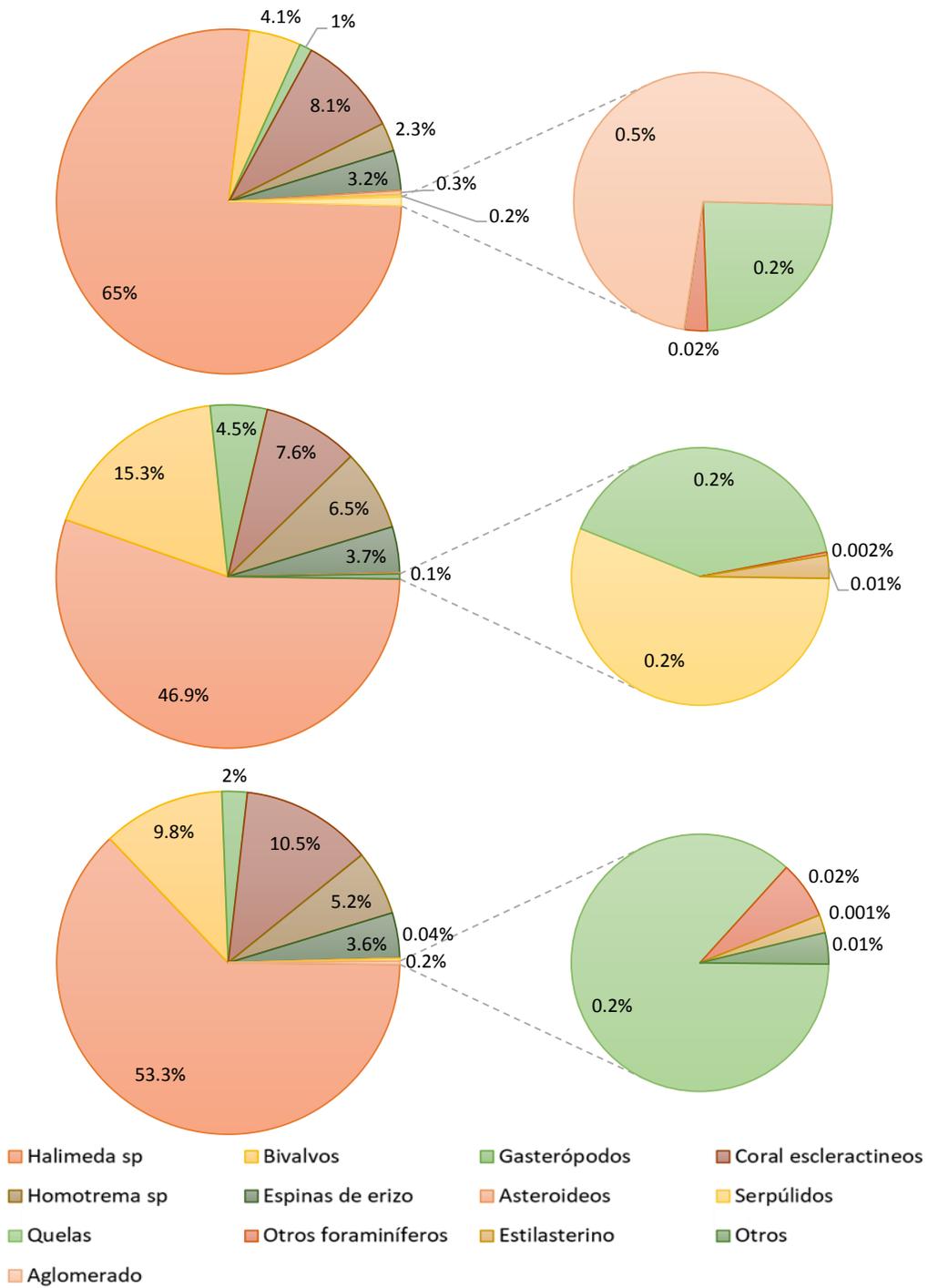


Figura 13. Porcentaje de la abundancia relativa por repetición del sedimento arrecifal (3 repeticiones)

El sedimento arrecifal de Hornos está formado en su mayoría por arenas muy gruesas (65.4%), seguido de arena gruesa (24.1%), arena mediana (8.5%), arena muy fina (1%) y en menor proporción se encuentran las arenas muy finas (0.8%), lodos (0.2%) y limo (0.03%) (Figura 14).

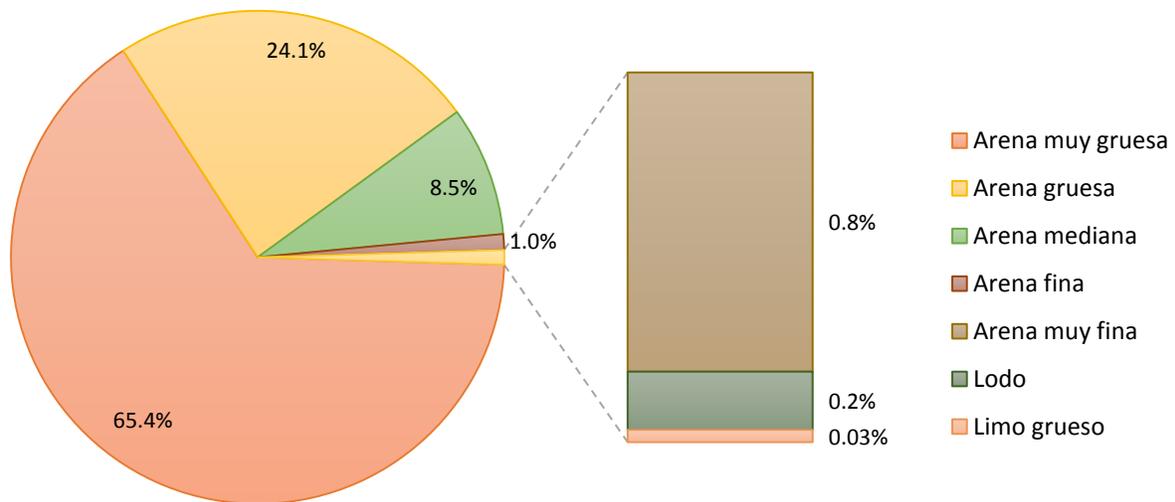


Figura 14. Proporción de las de las 7 fracciones utilizadas para el análisis granulométrico del sedimento arrecifal

Análisis químicos

La composición química del sedimento está comprendida por: materia orgánica, carbonatos y material siliciclástico, entre los más relevantes. Los carbonatos tienen un porcentaje elevado (84.5%), la materia orgánica presenta el porcentaje de 0.5% como se muestra en la figura 15. Mientras que los siliciclásticos conforman 14.1% del sedimento.

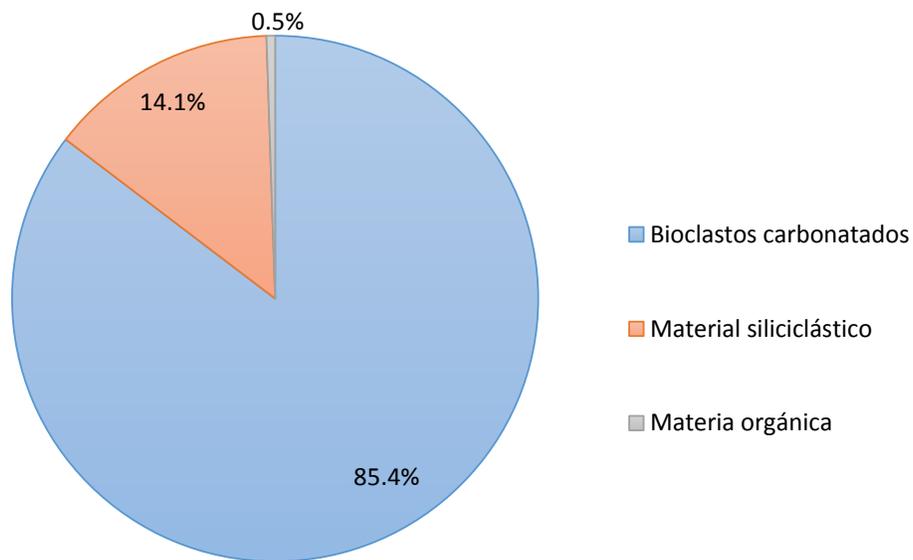


Figura 15. Composición del sedimento

Discusión

A pesar de que el objetivo principal del trabajo se cumplen sabiendo la proporción de los grupos biológicos presentes en el sedimento arrecifal, se profundizó en la caracterización tomando en cuenta que el sedimento no está compuesto en su totalidad por material bioclástico, también hay materia orgánica, producto de la actividad biológica del lugar, y material terrígeno (siliciclástico), que son de aporte continental. En el sedimento del arrecife Hornos la composición química está dada por bioclastos carbonatados como mayor componente con 85.4%, seguido de material terrígeno con el 14.1% y por último la materia orgánica con 0.5%, según Establier et al. (1984), citado por Fernández; (2007), plantea que las concentraciones en los sedimentos marinos son normales cuando el porcentaje de materia orgánica oscila entre 0.1 y 10; debido a que en ambientes arrecifales los sedimentos son de origen biogénico, que se constituyen de la depositación de restos y fragmentos de diversos organismos (corales escleractinios, algas calcáreas, moluscos y foraminíferos, entre otros) (Chave 1962), siendo el componente principal de los sedimentos (>90% de peso seco) y en menor proporción partículas fina terrígeno siliciclásticas, de aporte continental (Kornicker et al. 1959 y Boss y Lidell 1987).

El arrecife Hornos al ser un arrecife costero que ha sido alcanzado por el crecimiento antropogénico presenta una abundancia relativa del coral en sedimento del 8.81%, considerado un valor bajo si lo comparamos con estudios similares. Esto se debe a que ha sido utilizado como un área de obtención de recursos pesqueros desde tiempos prehispánicos, además de la construcción de diversas obras, la más reciente, la construcción de la Marina Veramar sobre la planicie arrecifal, donde datos recientes mencionan que el aumento de sólidos en suspensión, sedimentación y turbidez del agua, son condiciones con fuertes impactos en las comunidades arrecifales, las cuales afectan funciones vitales, como la fotosíntesis y respiración de las colonias, pudiendo ocasionar la muerte de las colonias coralinas más pequeñas (Telesnicki y Goldberg 1995). En el proyecto CONABIO DM005, Horta-Puga y Tello-Musi (2009), reportan que en el arrecife Hornos el 93.5% del

área se encuentra desprovista de corales hermatípico, área colonizada principalmente por algas filamentosas (43.3%), arena (18.6%) y algas calcáreas (14%), encontrando así la cobertura coralina más baja del SAV (6.5%), por esta razón podríamos entender que el coral en sedimento está presente en cantidades menores comparado con estudios similares, además se puede observar una disminución de cobertura coralina, del 6.5% en el 2009 al 2.3% para el 2013 reportado en el proyecto CONABIO GM005 Horta-Puga et al. (2015).

Gischler et al. (2017) mencionan que en Florida las partículas más comunes de los sedimentos arrecifales son fragmentos de corales, presente con 39%, en el Caribe Mexicano, Novak et al., (1992) reportaron que para Chemuyil el coral está presente con 39.4% y en Akumal 31%, muy por arriba de lo encontrado en Hornos (8.81%), pero en proporciones similares se encuentra Hawaii (7-15%), donde encontraron que el bajo porcentaje de coral en sedimento, es debido a los efectos combinados de la baja cobertura coralina, el aumento de la turbidez del agua y el arrastre de material terrígeno (Calhoun y Field 2008), condiciones que el arrecife Hornos presento por el constante dragado.

A pesar de que los corales producen grandes estructuras, no pueden formar un arrecife por ellos mismos; las algas contribuyen enormemente a la productividad y crecimiento del arrecife. Así, al ser las principales competidoras por sustrato (si se dan las condiciones adecuadas), las algas pueden llegar a desplazar al coral rápidamente (Herrera-López et al., 2004), este gremio contribuye enormemente a la biomasa del arrecife (Littler y Littler 1985). Sin embargo, llegan a ser susceptibles a la sedimentación (Fabricius 2005). Pero en el arrecife Hornos las algas no se vieron afectadas por la sedimentación y se pudo deber a que las algas tienen un ciclo de vida corto (Paredes-Lugo 2014), encontrando que efectivamente no disminuyeron, ya que la composición biológica del sedimento en Hornos está constituido en gran medida por alga calcárea (*Halimeda*) con 55.1% de los bioclastos carbonatados (Tabla 2). Al compararlo con estudios realizados en otros sistemas arrecifales del Golfo de México (Alacranes) y Caribe Mexicano (Banco Chinchorro), *Halimeda*

Tabla 2. Comparación de la composición del sedimento (%) en arrecifes de diferentes estudios

	Esc	Est	Cor	Gast	Biv	Mol	EE	Ast	Equi	Hom	OF	For	Hal	AC	Otro	NI	Brio	Ane	Aglo	Silic
Arrecife Hornos, SAV, Golfo de México.	8.8	0.006	8.81	2.5	9.7	12.2	3.5	0.2	3.7	4.7	0.01	4.71	55.1		0.003			0.02	0.2	14.1
Novak et al. 1992; Alacranes, Golfo de México.			23.1	2.6	7.6	10.2			0.4	0.4	8.7	9.1	43.5	11.0	1.0	0.2				1.0
Novak et al. 1992; Banco chinchorro, Mar Caribe			10.1	1.9	6.5	8.4					11.2	11.2	60.3	7.6	0.9					0.9
Novak et al. 1992; Akumal, Mar Caribe			31.0	1.9	4.9	6.8			1.5	3.6	16.8	20.4	9.0	20.0	1.4					1.4
Novak et al. 1992; Chemuyil, Mar Caribe			39.4	1.4	2.6	4			3	0.4	10.8	11.2	27.4	4.6	4.8					4.8
Chevillon. 1995; Nueva Caledonia, Pacífico			2.7			30.9						17.3	16.2							31
Harney. 2000; Kailua Bay, Oahu, Hawaii			11-18			10-11						4-6	4-10	42-46						7-14
Scott y Field. 2008; Molokai, Hawaii			7.0			10.0			<4.0			20.0	50.0	11.0			<1.0			13
Perry et al. 2005; Discovery Bay, Jamaica			~18.0			~7.0			~3.0			~5.0	~50.0		~5.0	~3.0				~10
Dawson y Smither. 2014; Gran Barrera Arrecifal, Australia			24.0			15.0						39.0	14.0	6.0						
Gischler et al. 2017; Dry Tortugas, Florida, Golfo de México			39.0			14.9			1.0				13.4	21.0						10

Esc= Escleractinios. Est= Estilasterino. Cor= Coral. Gast= Gasteropodos. Biv= Bivalvos. Mol= Moluscos EE= Espinas de Erizo. Ast= Asteroideos. Equi= Equinodermos. Hom= Homotrema. OF= Otros foraminíferos. For= Foraminíferos. Hal= Halimeda. AC= Alga Coralina. NI= No identificable. Brio= Briozoos. Ane= Anélidos. Aglo= Conglomerado. Silic= Mat. siliciclástico

presenta valores similares, 43.5% y 60.3%, respectivamente, del sedimento bioclástico (Novak et al. 1992), de igual forma pero en Jamaica y Hawaii, se observó que la abundancia relativa en las capas superficiales del sedimento actualmente están dominadas por *Halimeda* con el 50%, para ambos sitios (Perry et al. 2006, Calhoun y Field 2008). El alga verde calcárea forma parte de la biota que aporta mayor cantidad de sedimentos en las regiones arrecifales, entre ellas *Halimeda*, que la mayoría de sus especies son consideradas como las principales productoras de sedimentos y arena de carbonato del arrecife (Goreau et al. 1979, Hillis-Colinveaux 1980) superando a los corales (Scoffin 1992). Esta alga verde (Chlorophyta), consiste en segmentos duros aplanados con forma de “hojuela de avena” que son articulados. Al morir pierden todos sus pigmentos dejando las paredes blancas calcificadas, los segmentos muertos resultantes son el principal componente de las arenas calcáreas que se encuentran en el sedimento (Lehman 2010). El aumento de fragmentos algales en el sedimento arrecifal de Hornos se ve reforzado por el incremento de cobertura de alga calcárea en el arrecife, esto durante y después de la construcción de la Marina, como se ve reflejado en los resultados obtenidos por Paredes-Lugo (2014) con un aumento del 100% en cobertura.

Otro grupo que contribuye en la formación del sedimento arrecifal son los moluscos y están presentes con alta abundancia relativa en el sedimento del arrecife Hornos (12.2%) encontrando dentro de este grupo a los gasterópodos y bivalvos (2.5% y 9.7%, respectivamente), estos últimos con una mayor proporción. A pesar de observar un gran número de gasterópodos en el sedimento, su tamaño no sobrepasaba los 5 mm, en comparación de los bivalvos que presentaban tamaños de hasta 1cm, por lo que su peso fue mucho mayor. La abundancia relativa de los granos de sedimento derivados de moluscos en Hornos es similar a otros lugares del Golfo de México, como Alacranes (gasterópodos 2.6%, bivalvos 7.6%, en total 10.2%) donde puede haber similitudes ambientales, y en lugares como Hawái (Kailua Bay, Oahu 10-11% y Molokai, 10%); pero inferiores a los valores en Nueva Caledonia (30.9%), Gran Barrera Australiana (15%) y Florida (14.9%). Los fragmentos derivados de moluscos en Hornos pueden ser bajos comparados con

Nueva Caledonia, en donde son el componente principal del sedimento, y la causa simplemente puede ser a que haya otro tipo de grano producido a tasas más altas (Calhoun y Field 2008). Alternativamente Lidz y Hallock (2000) demostraron que el aumento en los fragmentos de moluscos son producto del incremento de los nutrientes provocando una caída en la producción de fragmentos de coral.

La composición del sedimento también presenta restos de foraminíferos que son organismos protozoarios ameboides predominantemente marinos del Filo Rhizopoda. Todos incluyen una concha o testa, ya sea a partir de material orgánico secretado (carbonato de calcio) o a partir de materiales externos cementados (otros fragmentos de sedimento) (Ruppert y Barnes 1994). La distribución de las especies de foraminíferos se utiliza para reconstruir paleoambientes, pero también se han propuesto su uso como bioindicadores para evaluación y monitoreo de arrecifes coralinos, debido a que tienen requerimientos de calidad del agua similares a los de los corales con zooxantelas, y las condiciones que causan la disminución de los corales (por ejemplo: enriquecimiento de nutrientes) también causan la desaparición de los foraminíferos con alga simbioses (Hallock 2003). En el arrecife Hornos, los foraminíferos se encuentran presentes con el 4.71% del sedimento biogénico, encontrando en mayor proporción al foraminífero incrustante *Homotrema* (4.7%), que son de color rojizo, causada por la descomposición de pigmentos de endosimbiontes alojados (Loeblich y Tappan 1964 y 1988), pero se vuelven de color rosa claro o blancuzco al morir (Emiliani 1951). Son foraminíferos sésiles que crecen adheridos a las superficies inferiores de conchas, corales, etc (Pilarczyk y Reinhardt 2011), al ser organismos sésiles Machado y Moraes, (2002) mencionan que los fragmentos de *Homotrema* rojizos bien conservados, indican proximidad de sus áreas de origen, y es una señal de que la mayoría de las muestras se recogieron en o cerca de los hábitats originales. Los valores de abundancia relativa de foraminíferos en el arrecife Hornos, son inferiores a la mayoría de los valores reportados en otros estudios (Tabla 2), ejemplos de esto es en la Gran Barrera Australiana donde los foraminíferos bentónicos son el componente principal de los sedimentos con el 39%, en Hawaii y del Caribe Mexicano Akumal se reportan

valores de foraminíferos del 20%, mientras que en Nueva Caledonia están presentes con el 17%.

La diversidad relativa de los fragmentos de equinodermos en el sedimento de Hornos (3.7%) presenta valores superiores al ser comparado con el arrecife de Alacranes 0.4%, Akumal 1.5% y Chemuyil 3.0%, McClanahan y Muthiga, (1989) y McClanahan, (1999 y 2000) mencionan que la proliferación de algunas especies de equinodermos en muchos arrecifes de pesca se puede atribuir a la pérdida de peces óseos, Horta-Puga y Tello-Musi (2015) mencionan que la comunidad de peces en el arrecife Hornos presentan los valores más bajos de riqueza específica, densidad y biomasa del SAV, mientras que en la comunidad de erizos ocupa el primer lugar por densidad (9.8 ind/m²). Durante la construcción de la Marina Veramar la comunidad de erizos disminuyó su densidad en un 27%; sin embargo, las diferencias no fueron significativas, por lo que la abundancia de erizos no se vio afectada por la construcción de la marina, debido a que son organismos móviles capaces de desplazarse según las condiciones (Paredes-Lugo 2014).

Otro componente que se encontró dentro del sedimento del arrecife Hornos son tubos de poliquetos serpúlidos (suborden Sabellida, Familia Serpulidae), a menudo se encuentran incrustados en sustratos duros, incluyendo corales y conchas de invertebrados (Hove ten y Van den Hurk 1993), muchas veces la construcción del sustrato es por su cuenta, ya que forman tubos calcáreos secretados en forma de espiral, predominantemente. En Hornos están presentes con el 0.02%, y es de los componentes con menor abundancia relativa. En el sedimento se encuentran conglomerados, que son fragmentos de esqueletos de diversos organismos que con el paso del tiempo se cementaron y forman una sola partícula de sedimento, este componente conforma el 0.2%, en estudios similares no reportan este tipo de partículas en el sedimento. Por último, existen otros componentes con baja proporción relativa que están presentes con 0.003%, son granos de sedimento difíciles de identificar, debido a la severa abrasión, fragmentación física e insuficiente tamaño de grano y/o estructura esquelética, siendo esta última, la causa más común (Dawson y Smithers 2014).

Conclusiones

1. El sedimento del arrecife Hornos está constituido en su mayoría (85.4%) por bioclastos carbonatados (conchas y esqueletos de seres vivos), y 14.1% de materiales siliciclástico.
2. Se encontraron 13 grupos biológicos que contribuyen, con sus esqueletos y conchas, a la formación de estos sedimentos. Los grupos son: Coral escleractinios y estilasterinos, gasterópodos, pelecípodos, otros foraminíferos, *Homotrema*, *Halimeda*, crustáceos, sepulidos, espinas de erizo, Asteroideos, conglomerado y otros.
3. Los grupos dominantes son: *Halimeda* (55.1%), seguida de Bivalvos (9.7%), y corales escleractinios (8.8%) y *Homotrema* (4.7%). En conjunto representan poco más de las tres cuartas partes de los bioclastos que componen el sedimento.
4. Comparando el arrecife Hornos con lo registrado en estudios similares y en arrecifes del Golfo de México, se observa que los hábitats no son tan diferentes a pesar de estar geográficamente distanciados, ya que presentan valores similares tanto de *Halimeda* como moluscos, y esto nos puede indicar están presentes porque es su distribución natural.

Literatura citada

- Bernal**, G.A., I. Velásquez, A.C. Vargas, A.C. Agudelo, J.G. Andrade, C. Domínguez, G. Ricaurte. 2006. Variabilidad de los aportes a los sedimentos superficiales durante un ciclo anual en los Bancos de Salmedina. INVEMAR. Bol. Invest. Mar. Cost 35: 59-75.
- Betzler**, C., S. Lindhorst, T. Lüdmann, B. Weiss, M. Wunsch y J. C. Braga. 2015. The leaking bucket of a Maldives atoll: Implications for the understanding of carbonate platform drownin. *Marine Geology*, 36(6):16–33
- Birkeland**, C. E. and C. Birkeland. 1997. Life and death of coral reefs. Chapman y Hall, New York. 536p
- Boss**, S.K. y W. D. Lidell. 1987. Patterns of sediment composition of Jamaican fringing reef facies. *Sediment. Geology* 34, 77–87.
- Chave**, K. E. 1962. Factors influencing the mineralogy of carbonate sediments. *Limnology and Oceanographic*, 7:218.223
- Calhoun**, R. S. y M. E. Field. 2008. Sand composition and transport history on a Fringing Coral Reef, Molokai, Hawaii. *Journal of Coastal Research*, 24(5), 1151-1160.
- Carranza-Edwards**, A., L. Rosales-Hoz, y A. Monreal-Gomez. 1993. Suspended sediments in the southeastern Gulf of Mexico. *Marine Geology*, 112:257-69.
- Carricart-Ganivet**, J.P. y G. Horta-Puga. 1993. Arrecife de coral en México, 80-90 p. En: Biodiversidad Marina y costera de México. Salazar-Vallejo, S.I. y N.E. González. Com. Nal. Biodiversidad y CIQRO, México, 865 p.
- Carricart-Ganivet**, J. P. 1998. Corales Escleractinios, “Piedra Muca” y San Juan de Úlua, Veracruz. *Ciencia y Desarrollo*. 141:3
- Carrillo**, L., Horta-Puga, G. y Carricart-Ganivet, J. P. (2007). Clima y Oceanografía en: Jhon, W., Tunnell Jr., Chavez A y Kim Whithers (Edits.) Arrecifes Coralinos del Sur del Golfo de México (pp 101-128) México, La Paz, Baja California Sur
- Connell**, J. H. 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science* 199: 1302-1310

- Dawson**, J. L. y S.G. Smithers. 2014. Carbonate sediment production, transport, and supply to a coral cay at Raine reef, Northern Great Barrier Reef, Australia: a facies approach. *Journal of Sedimentary Research* 84:1120-1138
- Dawson**, J.L., S. G. Smithers y Q. Hua. 2014, The importance of large benthic foraminifera to reef island sediment budget and dynamics at Raine Island, northern Great Barrier Reef: *Geomorphology*, v. 222, p. 68–81.
- Diario Oficial de la Federación**. 1992. Decreto por el que se declara área natural protegida con el carácter de Parque Marino Nacional, la zona conocida como Sistema Arrecifal Veracruzano, ubicado frente a las costas de los municipios de Veracruz, Boca del Río y Alvarado, del estado de Veracruz Llave, con superficie de 52, 238-91-50 hectáreas: *Diario Oficial de la Federación México* (24 de Agosto de 1992), 9p.
- Edinger**, E.N. 2000. Bioerosion. In: Briggs DEG. Crowther PR. (eds) *Palaeobiology II*. Blackwell, Oxford. pp 275–279
- Emery**, K. O. 1963. Coral reefs of Veracruz, México. *Geofísica Internacional* 3:11-17
- Emiliani**, C. 1951. On the species *Homotrema rubrum* (Lamarck). *Cushman Found Foram Res Spec Cont* 2:143–147
- Establier**, R., J. Blasco, A. Gómez y D. Escolar. 1984. Materia orgánica en los sedimentos de la bahía de Cádiz y sus zonas de marisma y salinas. *Inv. Pesq*, 48(2), 285-301.
- Fabricius**, K. G. De'ath, L. McCook, E. Turak y D. M. Williams. 2005. Change in algal, coral and fish assemblages along water quality gradients on the inshore Great Barrier Reef. *Marine Pollution Bulletin*, 5:15p
- FIDENA**, Fideicomiso de Formación y Capacitación para el Personal de la Marina Mercante Nacional. 2011. *Manual del Alumno Náutico*. 2º edición. Escuelas Náuticas Mercantes. México. 37p.
- Foster**, M. S. 2001. Rhodoliths: Between rocks and softs place. *Journal of Phycology*. 37(5):659-667

- Gischler**, E. y Lomando, A.J., 1999, Recent sedimentary facies of isolated carbonate platforms, Belize–Yucatan system, Central America: *Journal of Sedimentary Research*, v. 69, p. 747–763.
- Gischler**, E., A. Isaack y J.H. Hudson. 2017. Sediments of the Dry Tortugas, south Florida, USA: Facies distribution on a ramp-like isolated carbonate platform. *Sedimentary Geology* 351, 48-65.
- Goreau**, T. F., N. Goreau y T. J. Goreau. 1979. Coral and coral reefs. *Scientific American* 241(2): 124-36.
- Hallock**, P. B., H. Lidz, E. M. Cockey- Burkhard, y I. C. B. Donnelly. 2003. Foraminifera as bioindicators in coral reef assessment and monitoring: the FORAM Index. *Environmental Monitoring and Assessment* 81:221-38.
- Harris**, D.L., Vila-Concejo, A. y Webster, J.M., 2014, Geomorphology and sediment transport on a submerged back-reef sand apron: One Tree Reef, Great Barrier Reef: *Geomorphology*, v. 222, p. 132–142.
- Harney**, J.N. y Fletcher, C.H. 2003. A budget of carbonate framework and sediment production, Kailua Bay, Oahu, Hawaii. *J. Sed. Res.*, 73, 856–868
- Harney**, J.N., E.E. Grossman, B. M. Richmond y C. H. Fletcher III. 2000. Age and composition of carbonate shoreface sediments, Kailua Bay, Oahu; Hawaii. *Coral Reef*, 19: 141-154
- Hayward** D. C., S. Hetherington, C.A. Behm, L.C. Grasso, S., Foret, D.J. Miller and E.E. Ball. 2011. Differential gene expression at coral settlement and metamorphosis – A subtractive hybridization study. *PLoS ONE* 6:e26411
- Herrera-López**, G. A. Cruz-Reyes, J. C. Hernández, N. García, G. González-Lorenzo, M. C. Gil-Rodríguez, A. Brito y J. M. Falcón. 2004. Alimentación y diversidad algal en la dieta del erizo *Diadema antillarum* en Tenerife, Islas Canarias. *Revista de la Academia Canaria de Ciencias*, 25(3-4): 12p.
- Hillis-Colinveaux**, L. 1980. Ecology and Taxonomy of *Halimeda*: Primary Producer of Coral Reef. *Advances in Marine Biology*, No, 17. London: Academic Press
- 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. DMOO5. 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.

Hove ten, H.A. y P. Van den Hurk. 1993. A review of recent and fossil serpulid “reefs”, actuopalaeontology and the “Upper Malm” serpulid limestone in NW Germany. *Geology en Mijnbouw* 72, 23–67.

Hughes, T.P., 1999, Off-reef transport of coral fragments at Lizard Island, Australia: *Marine Geology*, v. 157, p. 1–6.

Janßen A., Wize mann A., Klicpera A., Satari D. Y., Westphal H. y Mann T. 2017. Sediment Composition and Facies of Coral Reef Islands in the Spermonde Archipelago, Indonesia. *Front. Mar. Sci.* 4:144.

Kench, P. S., Smithers, S. G., and McLean, R. F. 2012. Rapid reef island formation and stability over an emerging reef flat: Bewick Cay, northern Great Barrier Reef, Australia. *Geology* 40, 347–350

Kornicker, L.S., F. Bonet, R. Cann, M. C. Hoskin. 1959. Alacran reef, Campeche Bank, Mexico. *Inst. Mar. Sci.* 6, 1–22.

Lara, M., C. Padilla, C. García, and J. J. Espejel. 1992. Coral reefs of Veracruz Mexico, 1: Zonation and community. In *Proceedings of the Seventh International Coral Reef Symposium* (22-26 June 1992, Mangilao, Guam), ed. R. H. Richmond, 1535-44. Mangilao: University of Guam Press.

Lehman, R. L. 2010. Algas de los arrecifes. En editado por John W. Tunnell Jr., Chavez A. y Kim Withers. *Arrecifes Coralinos del Sur del Golfo de México* (pp.129-140) México, La Paz, Baja California Sur Littler,

Lerdo de Tejada, M. 1850. Apuntes históricos de la heroica ciudad de Vera-cruz. Imprenta de Ignacio Cumplido. 226p.

Lezcano, B. E. F., M. A. Erguete y C. E. Angles. 2014. La calidad de agua en los ecosistemas costeros de México. INE. SEMARNAT. 407p

- Loeblich**, A.R. y H. Tappan. 1964. Treatise on Invertebrate Paleontology. Protista 2(C). Geol Soc of America. 900 p.
- Loeblich**, A.R. y H. Tappan. 1988. Foraminiferal genera and their classification. Geol Soc of America 1:970.
- Lidz**, B.H. y P. Hallock. 2000. Sedimentary petrology of a declining reef ecosystem, Florida reef tract (U.S.A.). Journal of Coastal Research, 16, 675–697.
- Littler**, M.M. and D.S. Littler, eds. 1985. Handbook of phycological methods. Ecological field methods: macroalgae. Cambridge University Press, Cambridge. 599 pp.
- Littler**, M., D.S. Littler & M.D. Hanisak. 1991. Deep-water rhodolith distribution, productivity, and growth history at sites of formation and subsequent degradation. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 150 (2):163-182.
- Lot-Helgueras**, A. 1971. Estudios sobre fanerógamas marinas en las cercanías de Veracruz. Inst. Biol. UNAM. Ser. Bot. México. 42(1): 2-48
- Machado**, A.J. y S. S. Moraes. 2002. A note on the occurrence of the encrusting foraminifera *Homotrema rubrum* in reef sediments from two distinctive hydrodynamic settings. Ann Brazilian Acad Sci 74:727–735
- McClanahan**, T.R. y N. A. Muthiga. 1989. Patterns of predation on a sea urchin, *Echinometra mathaei* (de Blainville), on Kenyan coral reefs. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 126, 77–94.
- McClanahan**, T.R. 1999. Predation and the control of the sea urchin *Echinometra viridis* and fleshy algae in the patch reefs of Glovers Reef, Belize. Ecosystems 2, 511–523.
- McClanahan**, T.R. 2000. Recovery of the coral reef key stone predator, *Balistapus undulatus*, in east African marine parks. Biological Conservation 94, 191–198.
- MacGeachy**, J.K. y C. W. Stearn. 1976. Boring by Macro-organisms in the Coral *Montastrea annularis* on Barbados reefs. International Revue ges. Hydrobiologia 61, 715–745.
- Merlock**, J. y K. J. Koenig 1967. Terrigenous sedimentation a shallow water coral reef environment. Journal Sedimentary Petrology. (37) 4 1001-1005 p.
- Morgan**, K. y Kench, P.S., 2014, A detrital sediment budget of a Maldivian reef

platform: *Geomorphology*, v. 222, p. 122–131.

Muñoz-Iniesta, D. J., A. Soler-Aburto, F. López-Galindo y M. M Hernández-Moreno. 2013. *Edafología, Manual de métodos de análisis de suelos*. Universidad Nacional Autónoma de México. 139 p.

Nolasco-Montero, E. y A. Carranza-Edwards. 1987. Estudio sedimentológico regional de playas de Yucatán y Quintana Roo, México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. Consultado el 09 de agosto del 2015. Recuperado de: <http://biblioweb.tic.unam.mx/cienciasdelmar/instituto/1988-2/articulo305.html>

Novak, A.J., W. D. Linddell y D. Torruco. 1992. Sedimentology and Community Structure of Reefs of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Proceedings of the Seventh International Coral Reef Symposium, Guam, Vol. 1*

Paredes-Lugo, J. 2014. Influencia de la construcción de la Marina Veramar sobre el Arrecife de Hornos, Golfo de México (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores, México.

Perry, C. T., K. G. Taylor y P. G. Machent. 2006. Temporal shifts in reef lagoon sediment composition Discovery Bay, Jamaica. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 67: 133-144.

Perry, C.T. y L.J. Hepburn. 2008. Syn-depositional alteration of coral reef framework through bioerosion, encrustation and cementation: taphonomic signatures of reef accretion and reef depositional events. *Earth Sci Rev*, 86:106–144

Perry, C. T., Kench, P. S., Smithers, S. G., Riegl, B., Yamano, H., and O’Leary, M. J. 2011. Implications of reef ecosystem change for the stability and maintenance of coral reef islands. *Glob. Chang. Biol.* 17, 3679–3696.

Perry, C.T., P.S. Kench, M.J. O’Leary, K.M. Morgan y F. Januchowski-Hartley. 2015. Linking reef ecology to island building: Parrotfish identified as major producers of island-building sediment in the Maldives. *Geology*, 43(6): 503–506

Pilarczyk, J. E. y E. G. Reinhardt. 2011. *Homotrema rubrum* (Lamarck) taphonomy as an overwash indicator in Marine Ponds on Anegada, British Virgin Islands. *Nat Hazards Ear Sys Sci*, 63:1 85-100

Rankey, E.C., Reeder, S.L. y Garza-pe´ rez, J.R., 2011, Controls on links between geomorphical and sedimentological variability: Aitutaki and Maupiti Atolls, South Pacific Ocean: *Journal of Sedimentary Research*, v. 81, p. 885–900.

Riosmena-Rodríguez, R., D.L. Steller & M.S. Foster. 2007. Trabajos selectos de investigación sobre rodolitos. *Ciencias Marinas*. 33 (4):i-ii.

Ruppert, E. E., and R. D. Barnes. 1994. *Invertebrate Zoology*, 6th ed. Fort Worth: Saunders College Publishing.

Scholle, P. A. 1978. A color illustrated guide to carbonate rocks: constituents, textures, cements and porosities. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Memoir*, 27.

Scholle, P. A. and Ulmer-Scholle, D. S. 2003. A Color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks, *AAPG, Memoir*, vol. 77.

Scoffin, T.P. 1992. Taphonomy of coral reefs: a review. *Coral Reefs* 11: 57-77.

Schumacher, H. and H. Zibrowius. 1985. What is hermatypic? A redefinition of ecological groups in corals and other organisms. *Coral Reefs* 4: 1-9.

Schuhmacher, H. 1978. *Arrecifes coralinos. Su extensión, mundo animal y ecología*. Omega, Barcelona

Stearn, C.W., T.P. Scoffin, y W. Martindale. 1977. Calcium carbonate budget of a fringing reef on west coast of Barbados. Part 1 - Zonation and productivity. *Bull. Mar. Sci.*, 27, 479–510.

Telesnicki, G. J. y W. M. Goldberg. 1995. Effects of turbidity on thr photosynthesis and respiration of two south Florida reef coral species. *Bulletin of Marine Science*, 57(2): 13p.

Tucker, M. E. 1990. Diagenetic processes, products and environments. In M. E. Tucker and V. P. Wright (eds.), *Carbonate Sedimentology*. Blackwell, Oxford, 314-364.

Vargas-Hernández, J.M, A. Hernández –Gutiérrez y L.F. Carrera. 1993. Sistema Arrecifal Veracruzano. 559-575 p. En: Biodiversidad Marina y costera de México. Salazar-Vallejo, S.I. y N.E. González. Com. Nal. Biodiversidad y CIQRO, México, 865 p

Warne, J.E., 1977. Carbonate borers: their role in reef ecology and preservation. In:Weiss,M.P., Saunders, J.B. (Eds.), *Reefs and Related Carbonates—Ecology and*

Sedimentology. American Association of Petroleum Geologists, Studies in Geology, vol. 4. 421 pp.

Weinstein, D.K., J.S. Klaus, y T.B. Smith. 2015. Habitat heterogeneity reflected in mesophotic reef sediments. *Sedimentary Geology*, 32(9):177–187

Wilson, J. B. 1979. Biogenic carbonate sediments on the Scottish continental Shelf and on Rockall Bank. *Marine Geology*, 33:M85-M93

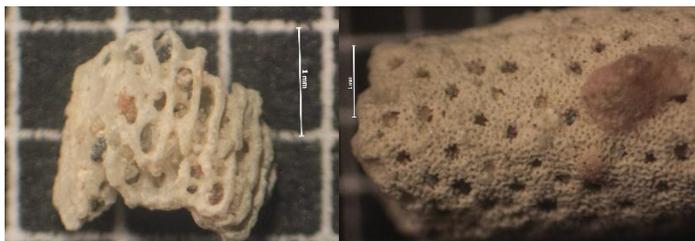
Zinke, J., J. J. G. Reijmer, M. Taviani, W-C. Dullo y B. Thomassin. 2005. Facies and faunal assemblage changes in response to the Holocene transgression in the Lagoon of Mayotte (Comoro Archipelago, SW Indian Ocean). *Facies*, 50:391–408

ANEXO 1

REGISTRO FOTOGRAFICO

CORALES

Cnidaria, Anthozoa, Hexacorallia, Scleractinia



C-Sp. 01

C-Sp. 02.

Cnidaria, Hidrozoa, Hydroidolina, Filifera, Stylasteridae

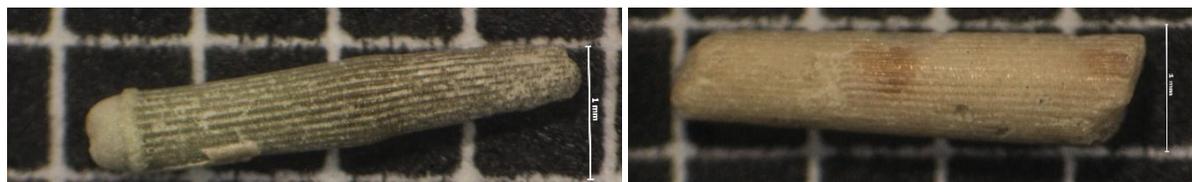


C- Sp. 03

EQUINOIDEOS

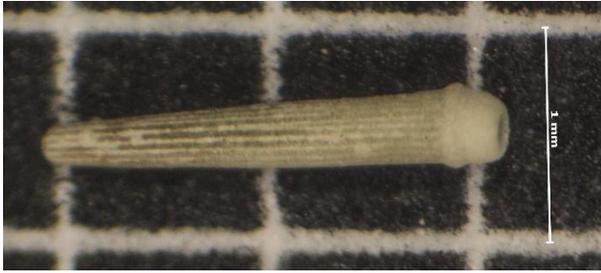
Diadematoide, Echinometride

- Espinas de erizo

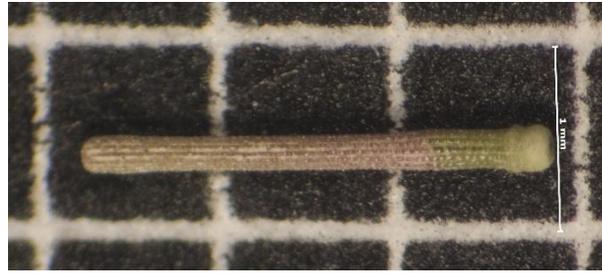


E-Sp. 01

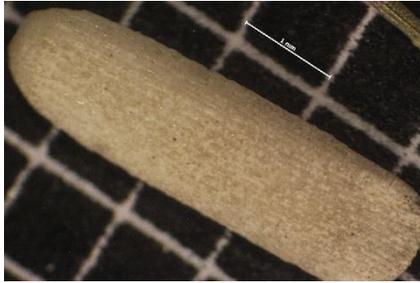
E-Sp. 02



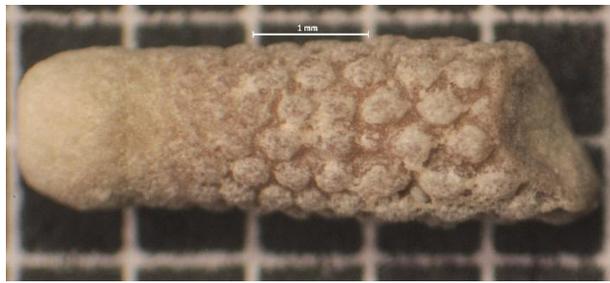
E-Sp. 03



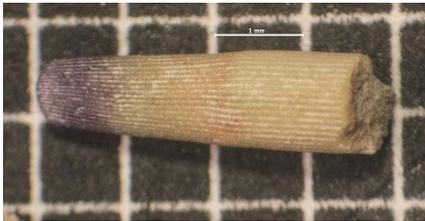
E-Sp. 04



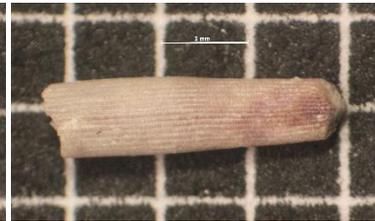
E-Sp. 05



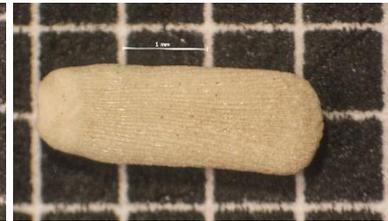
E-Sp. 06



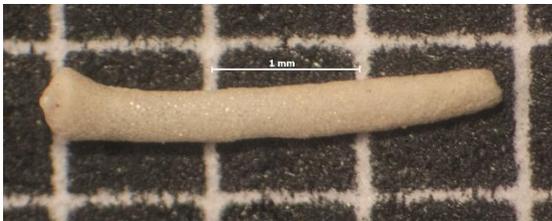
E-Sp. 07



E-Sp. 08



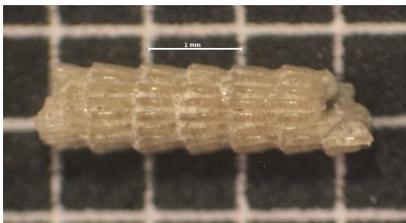
E-Sp. 09



E-Sp. 10



E-Sp. 11



E-Sp. 12

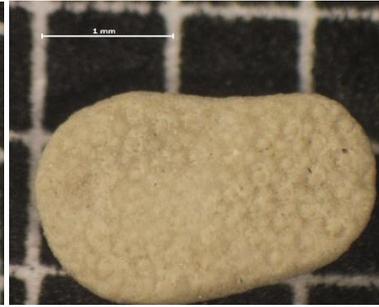


E-Sp. 13

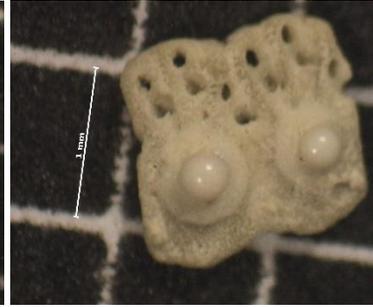
- Placas ambulacrales



E- Sp. 15



E- Sp. 16



E- Sp. 17



E- Sp. 18



E- Sp. 19



E- Sp. 20



E- Sp. 21

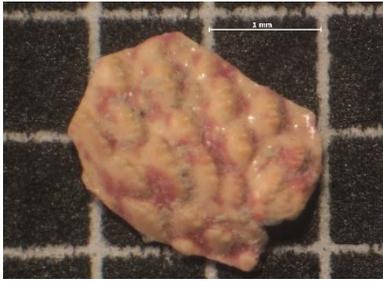


E- Sp. 22



E- Sp. 23

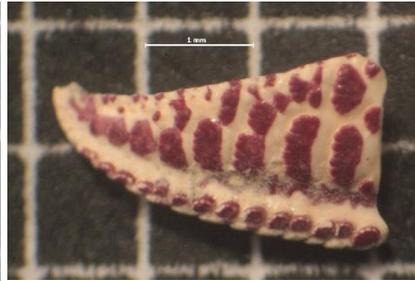
Echinodermata, Asteroidea



E- Sp. 24



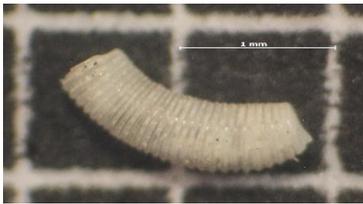
E- Sp. 25



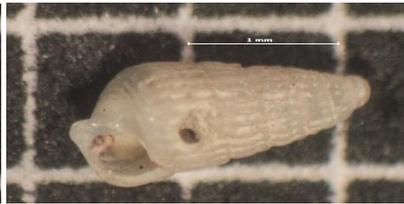
E- Sp. 26

MOLUSCOS

Mollusca, Conchifera, Gastropoda



M- Sp. 01



M- Sp. 02



M- Sp. 03



M- Sp. 04



M- Sp. 05



M- Sp. 06



M- Sp. 07



M- Sp. 08



M- Sp. 09



M- Sp. 10



M- Sp. 11



M- Sp. 12

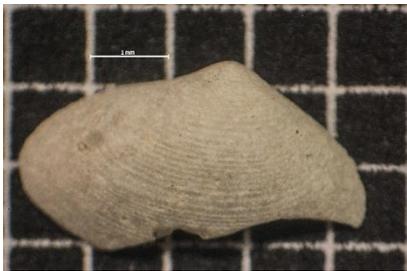


M- Sp. 13



M- Sp. 14

Cardidos, Venéridos, Pinnidos



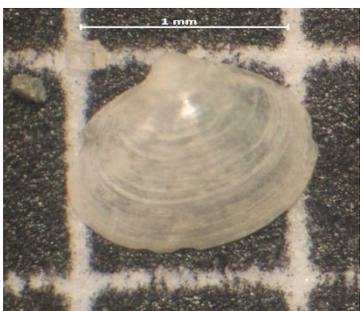
M- Sp. 15



M- Sp. 16



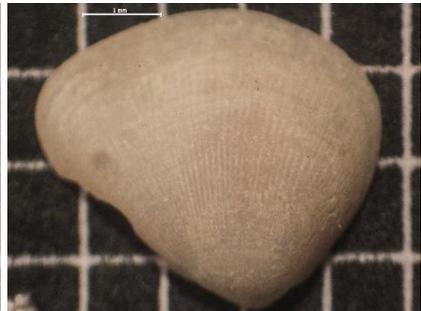
M- Sp. 17



M- Sp. 18



M- Sp. 19



M- Sp. 20



M- Sp. 21



M- Sp. 22



M- Sp. 23



M- Sp. 24



M- Sp. 25

FORAMINÍFEROS

Foraminifera, Rotaliida



F- Sp. 01



F- Sp. 02



F- Sp. 03



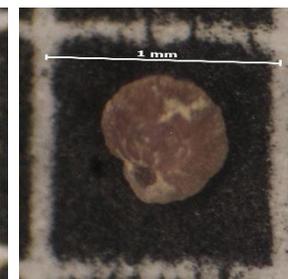
F- Sp. 04



F- Sp. 05



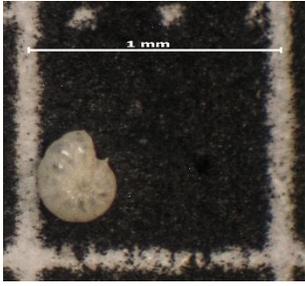
F- Sp. 06



F- Sp. 07



F- Sp. 08



F- Sp. 09



F- Sp. 10



F- Sp. 11



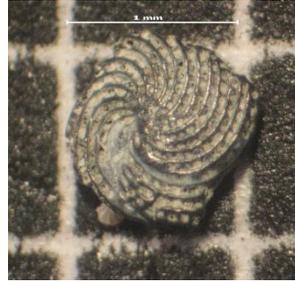
F- Sp. 12



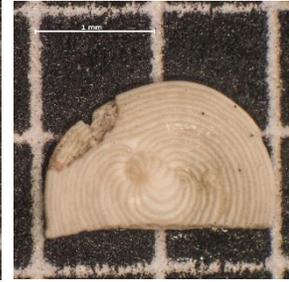
F- Sp. 13



F- Sp. 14



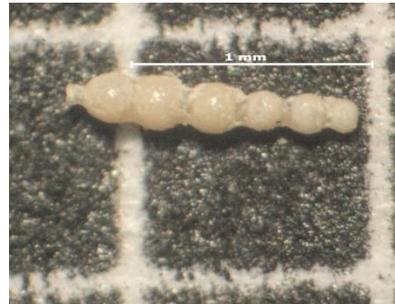
F- Sp. 15



F- Sp. 16



F- Sp. 17

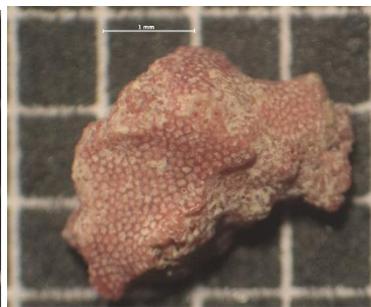


F- Sp. 18



F- Sp. 19

Foraminifera, Rotaliida, Homotrematide



CRUSTÁCEOS

Artropoda, Crustacea



Cr- Sp. 01



Cr- Sp. 02



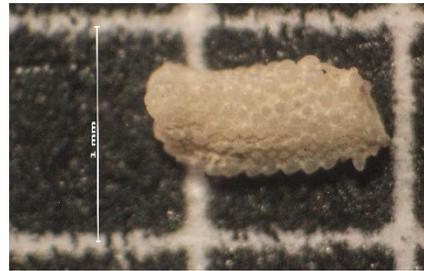
Cr- Sp. 03



Cr- Sp. 04



Cr- Sp. 05



Cr- Sp. 06

ANÉLIDOS

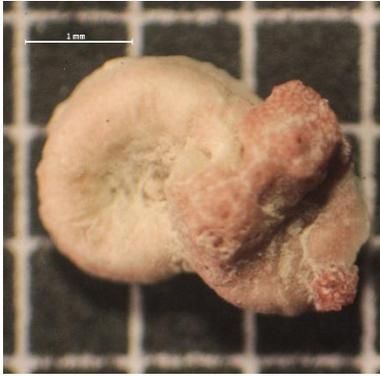
Annelida, Polychaeta, Sabellida, Serpulidae, Hydroides



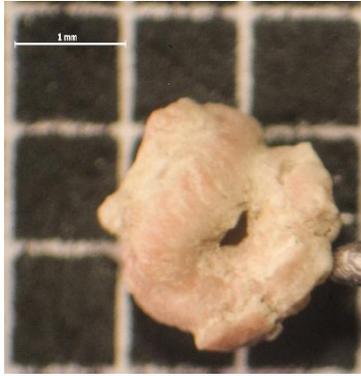
A- Sp. 01



A- Sp. 02



A- Sp. 03



A- Sp. 04

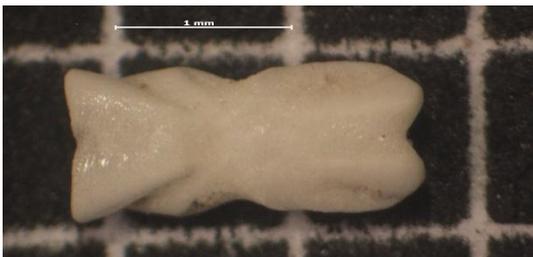
ALGA CALCÁREA

Chlorophyta, Ulvophyceae, Bryopsidales



Sp. Al- 01

OTROS



Sp. O-01

AGLOMERADO



Sp. Cg-01