



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

DISTRIBUCIÓN DE ZONAS CORALINAS EN EL ARRECIFE LA
ANEGADILLA, PARQUE NACIONAL SISTEMA ARRECIFAL
VERACRUZANO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

Presenta:

ROMERO GARCIA OSVALDO

Director de tesis:

Dr. Antonio Valencia Hernández

Laboratorio de Biología Acuática

Proyecto financiado por la DGPA-UNAM mediante
el proyecto PAPIIT IT203017



Ciudad de México, Marzo 2019



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.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

A la Facultad de Estudios Superior Zaragoza.

Al Dr. Antonio Valencia Hernández por su apoyo en el laboratorio y prácticas de campo.

A la Dra. Patricia Rivero García por ser una profesora muy dedicada a sus alumnos en especial a los matados.

A la M. en C. María Beatriz Martínez Rosales por su asesoría dentro de la carrera.

A la Dra. Verónica Mitsui Saito Quezada por sus revisiones puntuales.

A la Biol. Angelica Elaine González Schaff por los buenos momentos en campo y en laboratorio.

Al M. en C. Armando Cervantes Sandoval por su ayuda en materias estadísticas y en este trabajo.

Al equipo de laboratorio de Biología Acuática por su ayuda en las prácticas de campo.

Investigación realizada gracias al Programa de Apoyos a Proyectos de Investigación e Innovación (PAPIIT) de la UNAM-IT203017. Principales variables indicadoras de cambio climático y especies coralinas: rango de variación y momentos críticos. Agradezco a la DGAPA-UNAM la beca recibida.

Dedicatoria

A mis padres Laura y Manuel por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este. Me formaron con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis metas.

A pesar de que tengamos nuestros eventuales discusiones y malos encuentros, y de que tal vez seamos polos opuestos en ciertas cuestiones, has sido una de las principales personas involucradas en ayudarme a que pudiera ser lo que soy. Gracias hermanita por tu ayuda.

A mi familia que han sido la base de mi formación, cada uno de ustedes ha aportado grandes cosas a mi vida, y me han ayudado a enfrentar la gran tarea de encarar a la sociedad. Les agradezco por todo, en especial por aguantarme cada vez que estaba en etapas complicadas de la tesis y la carrera, pero al final este trabajo es el resultado de su paciencia.

Tu ayuda ha sido fundamental, has estado conmigo incluso en los momentos más complicados. Este proyecto no fue fácil, pero estuviste motivándome y ayudándome hasta donde tus alcances lo permitían. Gracias Gaby por todo ese apoyo incondicional.

A mis amigos de clase y de prácticas de campo Alan, Axel, Vanne, Jael, Gabito, Eddy, Iann, Diana, Silvia y Jennifer que me ayudaron a pasar buenos y malos momentos durante toda mi formación académica. Gracias por esos momentos inolvidables.

A mis compañeros Parchan, Perry, Orlitrix, Alfredito, Omar, Joaquín, Isacc, que estuvieron siempre en los momentos deportivos y de otras cosas.

Si un día estas muy triste recuerda que somos un pequeño grano de arena. Algunos átomos caídos de una estrella, estamos aquí solo son un instante, apenas un parpadeo en la escala del tiempo y el universo.

La vida es más fuerte que todo. Disfrútalo.

Jacques-Yves Cousteau.



Lo que sabemos es una gota de agua lo que ignoramos es el océano.

Issac Newton

Un hombre que se atreve a desperdiciar una hora no ha descubierto el valor de la vida.

Charles Darwin

Índice

Resumen	11
Introducción	13
CAPÍTULO I. Sistemas arrecifales su importancia y vulnerabilidad	15
1.1 Origen, formación y clasificación de arrecifes	18
1.2 Afectaciones a los sistemas arrecifales	21
CAPÍTULO II. La importancia e historia de la batimetría en estudios de arrecifes y zonas coralinas	23
2.1 Importancia de la zona de estudio	27
CAPÍTULO III. Logística y metodología en campo para el estudio de arrecifes	29
3.1 Alcance de la relación ecológica en la zona de estudio y la metodología	32
3.2 Programas de monitoreo de arrecifes coralinos.	33
CAPÍTULO IV. Distribución, diversidad y abundancia coralina	35
Objetivos	41
General	41
Particulares	41
Justificación del trabajo	42
Hipótesis	43
Material y método	44
Resultados	54
Batimetría del arrecife de la Anegadilla	54
Muestra mínima	59
Listado de especies coralinas	60
Cuantificación de especies y densidades poblacionales	61
Abundancia y distribución coralina	62
Cobertura relativa	63
Diversidad	64
Grado de daño	66
Zonas coralinas	68
Caracterización biológica de las especies	69
Análisis de Resultados	77
Batimetría del arrecife de la Anegadilla.	77

Comparación de mapas	78
Caracterización biológica de las especies	79
Muestra mínima	81
Abundancia coralina	81
Cobertura relativa	82
Distribución	83
Diversidad	85
Grado de daño	86
Conclusiones	87
Recomendaciones	89
Referencias	90
Glosario	96
Anexos	97
Anexo 1 Especies coralinas dentro del arrecife la Anegadilla, Veracruz.	97
Anexo 2 Especies coralinas con daño en el arrecife la Anegadilla, Veracruz.	104

Lista de figuras

Fig. 1. Ubicación geográfica de la Anegadilla del Parque Nacional del Sistema arrecifal Veracruzano (PNSAV). El arrecife se encuentra en las coordenadas 19°08'15.0'' latitud norte y 95°47'43.5'' longitud oeste, tomado de (Google, 2015)	45
Fig. 2. Diagrama del proceso de obtención de datos. Tomado parcialmente de	46
Fig. 3. Ajuste de la sensibilidad y la profundidad de la ecosonda. La sensibilidad se ajusta para tener una mejor visibilidad en la pantalla y la profundidad cambia conforme el bote avanza.	47
Fig. 4. Frecuencia disponible de la ecosonda. Esta frecuencia se ajusta preferentemente a 200 KHZ	48
Fig. 5. Realce de colores en cada Tabla del foto-transecto por medio del programa Infarview. La imagen de lado izquierdo no tiene realce de colores a diferencia de la imagen del lado derecho.	49
Fig. 6. Mosaico de las bandas realizados en el arrecife la Anegadilla, Veracruz. El mosaico se logra con un 20 % de traslape en cada imagen consecutiva del foto-transecto para observar con mayor claridad las especies coralinas.....	50
Fig. 7. Software Spiccer para el conteo de especies. Ventana inicial del programa, de lado izquierdo se insertan las imágenes de los foto-transectos a contabilizar, en la parte central es el área de trabajo para colocar puntos de referencia (landmarck) en los corales y de lado derecho las especies de referencia.....	51
Fig. 8. Agregar especies de referencia en el software Spiccer. Las imágenes de referencia fueron tomadas de , guías de campo y AGRRA.	52
Fig. 9. Identificación de las especies en el programa Spiccer. Se colocan puntos de referencia (landmarck) con un color elegido, en este caso se trata de una Pseudodiplori strigosa (PSTR) en color azul. En el caso de que fuera la especie un Porites astreoides (PAST) el landmarck sería amarillo.....	53
Fig. 10. Isobatas realizadas al arrecife la Anegadilla, Veracruz. La imagen de la izquierda visualiza las rutas planeadas con Google Earth Pro y la imagen del lado derecho fueron las rutas reales del ecosondeo visualizado con el Sistema de información Geográfica QGIS V2.18.3	54
Fig. 11. Rutas realizadas al arrecife la Anegadilla, Veracruz. Con el programa Surfer V.11 se modelo el mapa del arrecife con la serie de rutas realizadas, con espacio de 5, 10 y 20 m de distancia entre cada vuelta.....	57
Fig. 12. Mapa batimétrico del arrecife la Anegadilla, Veracruz. En los círculos rojos aparecen las zonas estructuras complejas del arrecife, realizado en Surfer v. 11.....	58
Fig. 13. Tamaño de la muestra. Foto-transectos realizados en la anegadilla, Veracruz por el método de frecuencias acumuladas.....	59
Fig. 14. Porcentaje de abundancia por especie coralina en el arrecife la Anegadilla, Veracruz.	63
Fig. 15. Cobertura coralina en el arrecife la Anegadilla, Veracruz.	64
Fig. 16. Valores de índices de riqueza de Margalef, Pielou y Shannon- Winner.	64
Fig. 17. Índices de diversidad en los sitios de muestreo en la Anegadilla, Veracruz.	65

Fig. 18. Sitios de inmersión con equipo SCUBA dentro del arrecife la Anegadilla, Veracruz.
Los puntos en color rojo indican las zonas coralinas.....68

Fig. 19. Comparación de la geomorfología del arrecife Santiaguillo y la Anegadilla, ambos mapas son de Veracruz. Mapas batimétricos modelados con SURFER 11 tomado de79

Lista de Tablas

Tabla 1 Abreviaturas de las especies coralinas y abundancia por especie de la Anegadilla, Veracruz.....	60
Tabla 2. Presencia y abundancia de especies coralinas por foto-transecto en la Anegadilla, Veracruz.....	61
Tabla 3. Tipo de distribución presente para la especie OFAV, CNAT, OANN, MCAV y MEDC. Datos procesados en el programa STATGRAPHICS Centurion XVI.....	62
Tabla 4. Lista y descripción de las especies encontradas en el arrecife la Anegadilla, Veracruz.....	71
Tabla 5. Características generales como sitio de buceo dentro de las unidades de manejo ambiental del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Tomado de Reyna González,(2014)	84
Tabla 6. Índices de Shannon-Wiener y Margalef. Comparación del arrecife Santiaguillo vs Anegadilla, ambos arrecifes en Veracruz, tomado de (Pérez-España y Vargas-Hernández, 2008).....	85

RESUMEN

El Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) está conformado por 23 arrecifes, dentro de estos arrecifes se ubica la Anegadilla que engloba pocos o nulos estudios de carácter científico. En cuanto a los mapas batimétricos disponibles de la zona, tienen escalas poco apropiadas para tomarse como punto de partida hacia el inicio de estudios detallados de carácter ecológico. En este trabajo se realizó la descripción de la distribución y abundancia de las especies del arrecife de La Anegadilla del PNSAV.

La complejidad geomorfológica de la Anegadilla es desconocida. Si se realiza la caracterización de niveles batimétricos, se pueden definir zonas ecológicas particulares para el estudio de la ubicación y distribución de especies coralinas, debido que ciertas especies pueden adaptarse a distintos regímenes de incidencia de luz, flujo de las corrientes marinas, influencia del oleaje, dióxido de carbono disuelto y potencial de hidrogeno. Por la etapa de cambio climático que se está viviendo en la actualidad, el conocimiento de zonas como la Anegadilla da pauta al conocimiento real de su valor y repercusión para el resto del sistema arrecifal por su papel como zonas de resguardo, de hábitats potenciales, de reproducción de especies para repoblamiento, y el discernimiento de escenarios futuros de migración, repoblación, extinción e invasión de especies.

Para ello se realizó un estudio batimétrico, en el cual se utilizó la Ecosonda *Lowrance* modelo HDS 10 con un sonar Mono Haz, se efectuó recorridos en lancha a través del arrecife La Anegadilla para modelar un mapa 3D con el programa *Surfer* 11. Tanto la batimetría como la aplicación de censos visuales acuáticos son poco perjudiciales para el arrecife, lo cual permite llevar a cabo foto-transectos con un equipo de cámaras de la marca CANNON *powershot* G12 y carcasas sumergibles, de las cuales se obtuvieron 2440 imágenes que se procesaron en el programa de cómputo *Infarview* para el realce de colores en cada imagen y posteriormente el conteo de las especies en el software *Spiccer*.

Los resultados mostraron que en el arrecife de la Anegadilla es una zona compleja estructuralmente; debido a que en la zona sur presenta pendientes con un ángulo

de inclinación de 90°, además de estructuras rocosas y pequeñas formaciones denominadas por gente local como “Picachos” que factiblemente puedan formar microhábitat para los corales. El ancho del arrecife es de 0.23 km y el largo de 0.78 km; en la periferia de la plataforma se encuentran caídas con pendientes casi verticales. La importancia de la profundidad define la luminosidad en su paso por la columna de agua, que permite a los corales su sobrevivencia.

Las especies coralinas en este estudio se encuentran localizados cerca del pueblo Antón Lizardo a 20 Km mar adentro en dirección noroeste sobre un arrecife de plataforma sumergida. Los resultados de los foto-transectos muestran un total de 13 especies de coralinas de las cuales la especie más abundante fue *Orbicella faveolata* con un 45.16 %, le sigue las especies *Colpophylia natans*, *Orbicella annularis*, *Montastraea cavernosa* y *Madracis decactis* con un valor de 7.32 %, 12.41 %, 6.2 % y 20.84 % respectivamente, esto se considera como una moderada abundancia en la zona de suroeste del arrecife.

Los índices de diversidad empleados en este trabajo muestran que el arrecife tiene baja diversidad, baja heterogeneidad en el hábitat y muestra dominancia de las especies *Orbicella faveolata* y *Madracis decactis* la primera tiene importancia ecológica por ser formadora de arrecifes.

De los tres sitios muestreados, la zona tres fue la que presentó mayor diversidad y abundancia de especies como *Colpophylia natans*, *Pseudodiploria strigosa*, *Montastraea cavernosa* y *Orbicella faveolata*, debido a estas características se le consideró como una zona coralina definida.

Esto refleja la importancia de la realización de estudios futuros que permitan conocer a mayor detalle la diversidad e importancia biológica de este arrecife pues podría ser considerado como zona núcleo y ser parte de los programas de manejo del PNSAV.

Palabras claves: Batimetría, Microhábitat, Diversidad, Censos visuales acuáticos.

INTRODUCCIÓN

La distribución de zonas coralinas en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) esta favorecida por las corrientes marinas, el clima de la región y fuerza de los vientos. La importancia ecológica de este es que pertenece a un área de protección y conservación lo que le ha permitido ser considerado como uno de los sitios Ramsar de México que son sitios vitales para la sobrevivencia de ser humano porque se consideran como los ambientes más productivos debido a su biodiversidad biológica de la que dependen muchas especies animales y vegetales, además, de brindar servicios ambientales como el control de inundaciones y mitigación del cambio climático. La importancia de su conservación radica en que la afectación a este sistema influye en otros sitios Ramsar de los que actualmente su calidad y cantidad se ha disminuido. El Parque Nacional del Sistema Arrecifal Veracruzano está delimitado por decreto presidencial en un polígono ya establecido y posee una gran cantidad de estudios que enmarcan listados, mapas, impacto ambiental, daños antropogénicos entre otros.

En este estudio se elaboró un mapa batimétrico del arrecife la Anegadilla que pertenece al PNSAV y del que no se cuenta con información ecológica, biológica y geomorfológica, un listado de especies coralinas para llevar a cabo la cuantificación de las especies y densidades poblacionales en escleractíneos, se ubicaron las zonas coralinas definidas por especies dominantes y por características geomorfológicas y se describió de manera general el grado de daño en las especies de la zona de estudio con el fin de brindar información al PNSAV. La parte de la introducción se dividió en cuatro capítulos y se explicará en síntesis cada uno de ellos.

Capítulo 1. Sistemas arrecifales su importancia y vulnerabilidad

En este capítulo se describe la importancia y vulnerabilidad de los sistemas arrecifales, se definirá que es un sistema arrecifal, porque la presencia de los corales permite una estructura a estos sistemas, la extensión de arrecifes que existen a nivel mundial y nacional, la formación de un sistema arrecifal y tipos de afectaciones en estos sistemas.

Capítulo 2. La importancia e historia de la batimetría en estudios de arrecifes y zonas coralinas

En este capítulo se hace una descripción de la historia batimétrica en estudios del piso oceánico hasta llegar al uso de arrecifes de coral y la importancia que tienen los estudios en zonas coralinas con un el mismo enfoque. De igual forma se explicará la importancia de los estudios batimétricos que se han realizado en el PNSAV y la zona de estudio.

Capítulo 3. Logística y metodología en campo para el estudio de arrecifes

En este capítulo se aborda la logística y metodología en el estudio de arrecifes donde se mencionará en qué consisten las estrategias de muestreo a partir de censos visuales acuáticos, las ventajas y desventajas de usar este método y los protocolos que existen de acuerdo con estándares establecidos para el estudio de arrecifes.

Capítulo 4. Distribución abundancia y diversidad coralina

En este capítulo se explicará la trascendencia de usar esta metodología aplicada a la zona de estudio y cuáles son sus repercusiones. También se abarcará la estimación y conteo de la diversidad con los índices de diversidad para estudios ecológicos.

Se describirá el material y método para realizar el mapa batimétrico, la selección de áreas, el procesamiento de los datos (foto-transectos), el coteo de las especies. Así mismo los resultados obtenidos del listado de especies coralinas dentro de este arrecife, su cuantificación, abundancia, diversidad, cobertura coralina y el grado de daño que se pudo observar en las especies.

En el apartado de análisis de resultados, se discutirá la obtención del mapa batimétrico comparado con otros mapas, así mismo la distribución, la presencia y abundancia de los corales con otros estudios cercanos a la zona de estudio y los daños que se han provocado en este arrecife. El trabajo finaliza al exponer las conclusiones, recomendaciones y las referencias utilizadas en este trabajo.

CAPÍTULO I. SISTEMAS ARRECIFALES SU IMPORTANCIA Y VULNERABILIDAD

Los sistemas arrecifales son ecosistemas, que proporcionan una fuente de ingresos, comida y protección de las costas para millones de personas; los recientes estudios muestran que los arrecifes de coral son proveedores de servicios que proporcionan un beneficio neto anual de 30 billones de dólares a las economías de todo el mundo (Herman *et al.*, 2002).

México cuenta con arrecifes coralinos en todos sus mares (Pacífico, Golfo de California, Golfo de México y Caribe) poseen un alto valor económico, los cuales sirven de sustento y fuente de alimentación para miles de personas, además de la atracción turística consecutiva y su alta productividad de peces en las costas de nuestro país; de acuerdo con la SOMAC (2017) se estima que el valor total del turismo asociado a los arrecifes coralinos en México es de \$3,000 millones de dólares estadounidenses por año.

El sistema arrecifal más grande del mundo es la Gran Barrera de Coral (GBR) ubicado frente a la costa de Queensland al noroeste de Australia, se extiende a lo largo de 2600 km. El segundo sistema arrecifal más grande ocupa una extensión de 1000 km, es conocido como El Sistema Arrecifal Mexicano (SAM) este sistema arrecifal se extiende a lo largo de la costa caribeña y pasa por México, Belice, Guatemala y Honduras.

Los sistemas arrecifales están compuestos principalmente de corales que construyen el arrecife. Son organismos coloniales llamados pólipos que viven simbióticamente con microalgas unicelulares denominadas zooxantelas, en su tejido corporal secretan un esqueleto de carbonato de calcio. Los corales están formados por millones de estos pólipos y regularmente estos se encuentran en aguas subtropicales, con baja materia orgánica, superficiales, limpias y cálidas con una temperatura óptima de 25°-29°C, además existen en rangos de 18° C como Florida a 33° C en Golfo pérsico (Buddemeier *et al.*, 1993).

Los corales son organismos pertenecientes al *phylum Cnidaria*. En función del número de tentáculos o líneas de simetría, los corales se dividen en dos subclases: escleractineos o “hexacorales” (corales verdaderos o pétreos) y alcionarios “octocorales” (corales blandos). Los alcionarios forman los denominados “Jardines de Gorgonias” que a veces son semejantes a algunas especies vegetales. Los escleractineos poseen un esqueleto calcáreo que dan la formación de estructuras arrecifales.

En cuanto a la morfología de los corales alcionarios presentan una estricta simetría octámera, con ocho tentáculos pinnados y ocho septos completos no pareados (Cleveland y Hickman, 2009). Son organismos coloniales y la cavidad gastrovascular de los pólipos se comunica a través de un sistema de tubos gastrodérmicos denominados solenios. Por lo general los alcionarios contribuyen a crear los “Jardines Submarinos” en los arrecifes de coral.

Las agregaciones de hexacorales en grandes extensiones ayudan a formar arrecifes. Los arrecifes son estructuras calcáreas formadas por corales escleractineos, hidrocorales, algas calcáreas y algunos otros organismos invertebrados. En el caso de los hexacorales se desarrollan principalmente en aguas cálidas, poco profundas, claras y con poca materia orgánica en suspensión (Knowlton, 2001). Veron (1995) da una estimación mínima de 835 especies de corales formadoras de arrecifes y las estimaciones de la biodiversidad en los arrecifes se da en intervalos globales de 1 a 9 millones.

Las estadísticas globales y regionales de área de arrecifes de coral son de considerable valor en diferentes campos que van desde la pesca hasta la conservación. Uno de los autores más citados en la estimación de área cubierta por corales es Smith (1978) quien da una cifra aproximada de 6,000,000 km² de cobertura arrecifal. Sin embargo, el Centro de Monitoreo de la Conservación Mundial estima unos 255,000 Km² (Spalding y Grenfell, 1997).

Los sistemas arrecifales son lugares con una gran cantidad de especies acuáticas y no solo ícticas, sino también de cefalópodos, equinodermos, moluscos, plancton, entre otros, que se relacionan con otros hábitats como manglares, atolones e islas.

Los arrecifes son el espacio ecológico para todas las especies que habitan en él, debido a ello es importante realizar constantemente manejo y monitoreo sobre el estado de salud de cada arrecife, ya que los corales cumplen la función de ser organismos-bioindicadores para detectar el grado de deterioro en el arrecife, esto conlleva a la toma de decisiones sobre la conservación adecuada para los arrecifes de coral.

Actualmente los arrecifes de coral se encuentran vulnerables debido a su disminución de hábitat provocada por el cambio climático, el cual se manifiesta por el aumento de la temperatura y la acumulación de dióxido de carbono en el océano, factores bien conocidos (Gómez *et al.*, 2015; Hughes *et al.*, 2003), junto con lo anterior se suma la gran acumulación de residuos antropogénicos, la deficiencia en las estrategias sobre manejo sustentable de los recursos costeros y el constante crecimiento demográfico en las urbes que provoca directa e indirectamente impacto ecológico en los corales.

Los procesos destructivos a los corales se asocian con factores físicos, biológicos y antropogénicos, como ejemplo antropogénico en épocas de la colonia en el puerto de Veracruz dada la falta de canteras vecinas, los pobladores usaron la piedra múcar, llamada por los nativos “Madrépora” que era extraída de los arrecifes coralinos de la bahía para sus construcciones y edificaciones. Un factor físico es por la fuerza de los huracanes, la constante erosión del oleaje y las corrientes marinas que causan la disminución de sistemas coralinos. De forma natural la radiación solar provoca el aumento de temperatura del océano (Brown, 1997; Ortiz-Lozano *et al.*, 2005) este aumento es potencializado por otros factores que conlleva al blanqueamiento coralino. En el siguiente apartado se describirá como se da la formación de los sistemas coralinos y su clasificación de acuerdo con su estructura física.

1.1 ORIGEN, FORMACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE ARRECIFES

Los escleractineos aparecieron en el registro fósil durante el período Triásico hace alrededor de 237 millones de años (Stanley y Fautin, 2001). En el caso de los arrecifes de Tuxpan- Veracruz, se conoce relativamente poco sobre sus características geológicas. Aunque los trabajos de investigación se centraron fundamentalmente en las comunidades biológicas, Rigby yMcIntire (1966) señalaron la importancia de la naturaleza del sustrato (estable o inestable, arenoso o rocoso) para determinar la distribución de los diferentes tipos de comunidades en el Arrecife de Isla Lobos cerca de Tuxpan. El lecho marino al norte y sur del arrecife está compuesto predominantemente por arena calcárea derivada del propio arrecife, mientras que al oeste del mismo se observa una mezcla de materiales terrígenos (sedimentos formados por tierra) y derivados del arrecife. El lecho marino inmediatamente al este del arrecife consistió principalmente en fragmentos de arrecifes rocosos.

Emery (1963), Edwards (1969) y Freeland (1971) examinaron los sedimentos mixtos de carbonato y terrígenos frente a las costas de la ciudad de Veracruz, Morelock yKoenig (1967) estudiaron los arrecifes localizados en Antón Lizardo al sur de Veracruz, donde ocho de ellos se elevan a 15-45 m del fondo desde la plataforma. Todos estos arrecifes se han desarrollado paralelos al litoral y perpendicularmente a la dirección de avance del oleaje prevaleciente. Se ven cesiblemente afectados por oleaje de tormentas y prácticamente carecen de sedimentos arenosos en la porción que miran a oeste, donde existe terraplenes de pedruscos bien desarrollados. Estos arrecifes se han establecido sobre dunas que datan del Pleistoceno, más aún, las arenas y gravas terrígenas presentes en la plataforma datan del Pleistoceno tardío (Wisconsiniano) y las tasas de sedimento terrígena actuales son muy bajas, permitiendo así que los arrecifes se desarrollen.

Los sedimentos de carbonato solamente se acumularon en el área de los arrecifes coralinos, y las muestras provenientes de esta zona raramente tienen un contenido de carbonato de calcio mayor al 50 % en peso.

En la formación de los arrecifes es necesario que las condiciones del medio permitan su crecimiento, los principales factores para su desarrollo son la temperatura, la incidencia de luz, la fuerza de las mareas y las corrientes, y principalmente su estructura, es decir el lugar donde se consigue adherir para colonizar un espacio. De manera artificial el humano puede proporcionar la estructura, con hundimientos de barcos que rápidamente son colonizados por una amplia variedad de especies acuáticas.

De forma natural los procesos geológicos son los encargados de proporcionar esta estructura debido a que la corteza de la Tierra está compuesta de materiales rocosos menos densos en su interior; cuando ocurre un movimiento de las placas tectónicas provoca el desplazamiento de este material menos denso hacia el interior de la Tierra provocando la formación de nuevo suelo oceánico. Con el movimiento de las placas tectónicas se eleva el fondo marino hacia la superficie que trae como consecuencia la formación de islas, aunque también, la actividad volcánica que se produce en los fondos oceánicos de la formación de islas.

Uno de los primeros en explicar la formación de arrecifes, atolones e islas es Darwin (1842) quien establece una secuencia de tres etapas en la formación de atolones. Comienza con la formación de un arrecife de coral alrededor de una isla volcánica extinta y posteriormente se desploman, tanto la isla, como el fondo oceánico. En la medida que continúa el hundimiento, el arrecife se convierte en una barrera de coral, y, en última instancia, en un atolón.

Darwin considero que, debajo de cada laguna se encontraría una base de roca madre, que podría pertenecer a los restos del volcán original. La teoría de Darwin se basó en su entendimiento de que, los pólipos de coral crecen en las aguas marinas limpias y agitadas de los trópicos, pero que sólo pueden vivir dentro de un rango de profundidad limitado, comenzando justo debajo del nivel de la marea baja. Cuando el nivel de la tierra subyacente lo permite, los corales crecen alrededor de la costa para formar lo que llamó arrecifes bordeantes (en inglés: *fringing reefs*), los cuales, con el tiempo, pueden crecer desde la costa hacia afuera para formar un arrecife de barrera.

Los tres tipos clásicos de arrecifes son los arrecifes bordeantes (*fringing*), de barrera y atolones. Para entender el proceso de la formación del arrecife y clasificarlo en los tres tipos anteriores es necesario entender la sucesión de un volcán y el hundimiento de este provocado por el aumento del nivel del mar. Los arrecifes comienzan a crecer en los alrededores del volcán y a estos se les denomina como arrecifes bordeantes, este proceso ocurre de manera simultánea con el hundimiento isla, conforme sigue el aumento del nivel de agua la estructura del volcán se sumerge y el crecimiento de los corales ocurre de manera horizontal y elevada, la cual forma los arrecifes de barrera, cuando el volcán se ha hundido por completo se forma una laguna en el medio del arrecife que finaliza en la formación de un atolón (atolón proviene de la palabra maldiva que hace referencia a los abundantes anillos de islas que forman la nación).

Maxwell (1970) explica la taxonomía de arrecifes de acuerdo a la forma, zonación morfológica y estructura central. De igual forma, proporcionó un esquema de clasificación basado en una serie de patrones de crecimiento progresivo y divergente de los arrecifes diferenciando por la forma de la superficie la cual debe estar arreglada en una secuencia como un resultado de procesos de crecimiento simétricos o asimétricos. Sus principales clases incluyeron paredes arrecifales (previamente llamados arrecifes listón) arrecifes cúspides, arrecifes de diente, tapón de arrecife, arrecife remanente, arrecife plataforma, arrecifes en forma de anillo y arrecifes de malla.

Una vez que se expuso el origen, formación y clasificación de los arrecifes en el siguiente apartado se especificara cuáles son las afectaciones en los sistemas arrecifales para explicar los daños provocados en el arrecife de la Anegadilla.

1.2 AFECTACIONES A LOS SISTEMAS ARRECIFALES

El estudio de un arrecife coralino proporciona información sobre el estado de salud de este, por ello se efectuó una descripción general de las afectaciones que se presentan en los corales y se clasificaron por dos vías: tipo y posible origen. Por tipo se hace referencia a procesos naturales por depredación por peces, competencia con algas o esponjas, palidez o blanqueamiento entre otras. Por origen al daño provocado por cuestiones antrópicas: anclaje de lanchas por pescadores, buceo turístico, encallamiento, minería y hundimiento de barcos.

i Competencia con algas

La proliferación de las macroalgas en los arrecifes coralinos es un fenómeno reconocido desde hace más de dos décadas y se atribuye, generalmente, a las actividades humanas en las costas. No obstante, el papel de la competencia en este proceso es poco claro y se ha asumido que las algas son competitivamente superiores que los corales, aun cuando se ha demostrado que esto no ocurre en todos los casos. (Márquez y Díaz, 2005) .

ii Depredación por peces

Una gran variedad de organismos consume corales vivos, incluyendo peces, anélidos, crustáceos, equinodermos y moluscos. Los organismos que consumen corales se les denomina coralívoros. Los coralívoros difieren en su estrategia de alimentación con diferentes consecuencias para el coral. Algunos se alimentan solo de las capas que desprenden los corales como protección del coral (llamada mucosidad) mientras que algunos otros se alimentan de tejido vivo y en el proceso toman porciones del esqueleto subyacente Hiatt y Strasburg (1960) . Existen 114 especies de vertebrados, representados en 11 familias de osteíctios. El principal depredador conocido es de la familia *Scaridae*, denominado “pez loro”. Entre los corales más afectados comúnmente por peces se encuentran los géneros *Acropora*, *Pocillopora*, *Montipora* y *Porites* (Rotjan y Lewis, 2008).

iii Blanqueamiento

Este fenómeno de blanqueamiento se presenta cuando un coral y otros organismos arrecifales expulsan sus zooxantelas debido a que rompen la asociación simbiótica, lo que hace visible el color blanco del esqueleto coralino (Carricart-Ganivet, 1993) . Las causas de los eventos de blanqueo aislados a pequeña escala a menudo se pueden explicar por factores estresantes particulares, por ejemplo, temperatura, salinidad, luz, sedimentación, exposición aérea y contaminantes (Glynn, 1993). Si bien no es raro encontrar niveles bajos de blanqueo en los arrecifes, el grado de afectación en las poblaciones y/o comunidades en los arrecifes mexicanos todavía no se ha investigado.

iv Palidez

Se caracteriza por presentar una coloración pálida en algunas partes de la colonia coralina, sin mostrar bandas en los alrededores del tejido afectado. Las causas de esta afectación siguen siendo desconocidas, sin embargo, se cree que podría ser una etapa previa al blanqueamiento (Gutiérrez-Ruiz *et al.*, 2011).

Las afectaciones anteriores y las actividades humanas que se llegan a combinar con los impactos naturales (huracanes, tormentas, frentes fríos, sedimentos y disminución de la salinidad) representan una amenaza creciente para los arrecifes. En general, las consecuencias de las perturbaciones de tipo antropogénico afectan en la disminución en la biodiversidad, cambio en las estructuras de las comunidades, aumento en los contaminantes químicos y modificación en el paisaje de los arrecifes. Por ello es importante registrar cualquier tipo de afectación a los arrecifes y en este trabajo pretende dar las afectaciones encontradas.

CAPÍTULO II. LA IMPORTANCIA E HISTORIA DE LA BATIMETRÍA EN ESTUDIOS DE ARRECIFES Y ZONAS CORALINAS

En el 2009 la Real Academia Española define a la batimetría como el estudio de las profundidades oceánicas mediante el trazo de mapas de isobatas y de la distribución de flora y fauna marina en sus zonas isobáticas.

En los estudios batimétricos los aspectos que se requieren son las isobatas las cuales son curvas que se utilizan para la representación cartográfica de los puntos de igual profundidad en el océano y en el mar, así como en lagos de grandes dimensiones. La unión de estas curvas de igual profundidad genera curvas de nivel que expresa la altitud o profundidad. La batimetría es el equivalente submarino de la altimetría.

La batimetría se utiliza para conocer la profundidad y el relieve del fondo de todo tipo de masa de agua por medio de sondeo. Los servicios derivados de la batimetría son muchos por mencionar algunos ejemplos: la construcción de muelles para el ingreso y salida sin dificultad de barcos de un puerto, las cartas de navegación y el relevamiento (levantamiento del relieve de la superficie acuática) como requisito necesario para realizar trámites y permisos gubernamentales de carácter obligatorio (como parte de un proyecto). Se desprende que a partir la batimetría se visualiza la morfología de suelo oceánico y como consecuencia la aparición de una gran cantidad de organismos marinos (corales, peces, algas, entre otros) que habitan en la zona.

La importancia de los estudios batimétricos es que el contar con mapas de resolución confiable conlleva a una mejor planeación de tareas con equipo SCUBA, a la aportación de información a la gente local para realizar recorridos ecoturísticos sin afectar zonas núcleo y da la pauta para próximos estudios biológicos (ecológicos, hidrodinámicos, taxonómicos, entre otros) para una adecuada conservación de la zona y sus recursos, lo cual refleja la importancia, trascendencia y alcance de realizar este trabajo.

El relieve del fondo marino es un factor que determina las propiedades y características ecológicas del océano. El uso de la batimetría en arrecifes mide el

entorno físico y sus alrededores. Esto proporciona una descripción física del medio ambiente circundante que ayudara en la creación de mapas, así como la medición del ambiente. Los parámetros que se incluyen en estudios batimétricos son: profundidad, perfiles del arrecife, corrientes, temperatura, calidad del agua, visibilidad y salinidad. Así mismo, el conocimiento de la batimetría es el punto de partida para el estudio de parámetros ecológicos como biodiversidad, complejidad estructural del hábitat, zonación ecológica, y relación de organismos-ambiente entre otros, por lo que el desarrollo de mapas batimétricos con un nivel de detalle acorde a la escala ecológica a estudiar es fundamental, a continuación, se mencionaran los trabajos oceanográficos históricos para entender por qué se sigue utilizando este tipo de estudios batimétricos ya que actualmente brindan una opción para el estudio de las comunidades arrecifales sin generar daños.

Tyce (1986) reseña en su artículo "*Deep seafloor mapping systems*" que el primer uso del ecosondeo para mediciones de profundidad marina ocurrió antes de 1920. No fue sino hasta la última década que el mapeo de profundidad del piso oceánico tomó importancia, con la introducción de nuevos sistemas de mapeo en la comunidad oceanográfica. Es apropiado mencionar que las innovaciones más recientes en el mapeo por sonar se originaron en los programas de la oficina de investigación naval (ONR) de la Institución oceanográfica de *Woods Hole* en 1956 donde se desarrollaron nuevos sistemas como el sumergible de investigación *Alvin* y el predecesor del sonar marino.

Para principios de 1900, el submarino *Signal Company* un precursor de *Raytheon Corporation*, desarrolló un sistema de navegación acústica submarina desplegado desde boyas y faros para ayudar a los barcos equipados con hidrófonos a navegar de forma segura al puerto durante periodos de visibilidad reducida. El origen del ecosondeo nace como tal en Alemania, Francia y Estados Unidos de América por investigadores que modificaron y mejoraron la tecnología para uso en sistemas de guerra antisubmarinas durante la primera guerra mundial.

Dierssen y Theberge Jr (2014) en su artículo "*Bathymetry: History of Seafloor Mapping*" mencionan que los primeros antecedentes en América sobre batimetría

se remontan a 1840 con los trabajos del explorador británico Sir James Clark Ross sobre la costa de Estados Unidos utilizando un sistema de cuerdas y pesos.

Hall (2006) en su artículo "*Charting the secret world of the oceanfloor: the GEBCO project 1903–2003*" compila todos los datos disponibles para producir mapas estandarizados de los océanos y mares que cubren el 71% del planeta Tierra. Así mismo, menciona que la batimetría sigue siendo la base principal de la cartografía náutica en todas sus formas en la Convención de las Naciones sobre el Derecho del Mar (CNDM).

Una vez que se retomó la importancia e historia de la batimetría en estudios oceanográficos, ahora se abordarán las investigaciones científicas que se han realizado en el Parque Nacional del Sistema Arrecifal veracruzano y en el arrecife la Anegadilla.

De acuerdo con Rueda yGarcía (2002) se tiene evidencia a partir de estudios batimétricos frente a la zona conurbada de Veracruz-Boca del Río, de la existencia de características bien diferenciadas de la costa, a los 20 kilómetros mar adentro, y de este sitio hacia el mar profundo. Frente a estas bahías se ubica el Sistema Arrecifal Veracruzano, con dos zonas distintivas: los arrecifes frente al Puerto de Veracruz, y los arrecifes frente a Punta Antón Lizardo. Estos arrecifes se encuentran a una distancia menor de 10 kilómetros de la costa, y sobresalen desde el fondo con paredes casi verticales.

Aburto (2009) estudió cuatro arrecifes (Isla Verde, Sacrificios, Enmedio y Blanca) en el PNSAV, presentó los mapas tridimensionales desarrollados en Sistema de Información Geográfica (SIG) en ARCMAP v. 9.3 donde marca la base de la distribución para octocorales que están localizadas sobre sitios de protección a velocidades de corrientes, sobre todo las de temporada de norte. Esta distribución ayuda a que la reproducción por fragmentación se logre con éxito logrando su asentamiento y proliferación sobre zonas específicas del arrecife. Sin embargo, no muestra investigación relacionados a los hexacorales.

Aguilera (2012) realizó la caracterización estructural y dinámica de paisajes en lagunas arrecifales en una profundidad aproximada de 5 m aplicado como estudio de caso PNSAV. A través de diversos productos de percepción remota (imágenes satelitales SPOT, fotografía y video aéreo) encontró que los arrecifes de Antón Lizardo (Anegada de afuera, Cabezo, Chopas, Enmedios) presentan formas irregulares a lo cual se atribuye a las características hidrodinámicas de la zona.

El arrecife la Anegadilla es el último de los arrecifes de la zona sur del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Son pocos los estudios acerca de la zona de estudio (Jiménez-Hernández *et al.*, 2007) los cuales consisten en reportes de utilidad náutica pero no ecológica (Chávez *et al.*, 2007) . Dicha carencia puede atribuirse al pequeño tamaño de su plataforma (alrededor de 0.156 Km²), por lo que pasa desapercibido, y la relevancia ecológica, batimétrica y económica de este sitio permanece desconocida.

Tomando en cuenta lo descrito previamente, el uso del método por ecosondeo brinda una alternativa viable en la obtención del mapa batimétrico de La Anegadilla considerando los siguientes aspectos:

- a) utilizar el método por ecosondeo disminuye el intervalo de tiempo y el esfuerzo de trabajo.
- b) El manejo de los datos obtenidos a partir del ecosondeo permite realizar una visualización de la superficie en 3D.
- c) Ya que se trata de una zona con pocos estudios científicos, este trabajo proporcionará las bases para futuros estudios ecológicos a partir de un enfoque batimétrico.
- d) No provoca ningún tipo de daño a los sistemas arrecifales ni a los organismos acuáticos del arrecife.

2.1 IMPORTANCIA DE LA ZONA DE ESTUDIO

El Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) ha sido ampliamente estudiado. Las primeras publicaciones sobre investigaciones científicas se iniciaron de manera aislada en 1891 con la publicación de Heilprin (1890) ; después de ésta y hasta 1950, la investigación fue escasa; sin embargo, ha tenido dos periodos generales de incremento de información: uno durante la década de los sesenta, y otro durante la década de los años ochenta, siendo este último el de mayor crecimiento. Los arrecifes más estudiados son la “Isla de En medio”, “Isla Verde” y “La Blanquilla”, mientras que los menos son “Topatillo”, “Rizo”, “Polo”, “Giotte” y “La Anegadilla” (Hernández *et al.*, 2007) .

La información sobre el arrecife la Anegadilla, consiste en una reseña histórica y mención sobre su ubicación geográfica, así como corrientes, “costa de Suroeste” y su importancia como sitio de refugio para embarcaciones para evitar el encallamiento de navíos (Victoria, 1825).

Las investigaciones sólo hacen mención de la Anegadilla como punto geográfico y existen mapas que solo citan a la zona de estudio como parte del Sistema Arrecifal Veracruzano. En dichas investigaciones existe poca o nula información ecológica, biológica, geológica, geográfica y química, es decir no existe una evidencia clara sobre estudios científicos específicos.

Como ejemplo de lo anterior Rangel *et al.* (2007) realizaron un estudio sobre comunidades de peces y corales dentro del PNSAV. De los 23 arrecifes de corales que hay dentro del parque estudiaron 10 donde sus resultados preliminares arrojaron un total de 27 especies de corales duros con una cobertura de 38% pero de los 17 sitios de muestreo no se incluyó a la Anegadilla.

Rozalez-Hoz *et al.* (2010) realizaron un estudio de concentración de metales en la zona arrecifal de Veracruz sin embargo solo hacen mención sobre los arrecifes bordantes o islas arrecifales que incluye a la Anegadilla a una distancia de 38 km del río Papaloapan y su desembocadura.

De acuerdo con Liddell yTunnell Jr (2011) el grupo de arrecifes al suroeste son arrecifes de tipo plataforma emergentes (Anegada de Afuera, Topadillo, Santiaguillo, la Anegadilla, Polo, Isla de En medio, Aviso, Blanca, Chopas, El Rizo, Cabezo y El Giote) ubicadas frente al pueblo de pescadores de Antón Lizardo.

Jiménez-Hernández *et al.* (2007) se encargaron de recopilar información científica cubriendo un período de 109 años (1891 a 2000), búsqueda permitió generar una base datos con un total de 380 referencias bibliográficas y en sus consideraciones finales mencionan que la Anegadilla es uno de los sistemas menos estudiados.

CAPÍTULO III. LOGÍSTICA Y METODOLOGÍA EN CAMPO PARA EL ESTUDIO DE ARRECIFES

El trabajo de campo para estudios de arrecifes requiere de la correcta planeación de las inmersiones (buceo), lo que conlleva a estrategias de logística, es decir, el muestreo que se llevara a cabo, posicionamiento geográfico vía GPS de la zona de muestreo, consideración del tiempo de inmersión en cada descenso, el esfuerzo de trabajo en cada muestreo, cálculo del gasto de consumo de oxígeno en el grupo de buceo entre otras consideraciones; por ello una herramienta práctica para disminuir en tiempo y esfuerzo la planificación del trabajo es utilizar el mapa batimétrico la Anegadilla (Romero, 2016) .

El muestreo se define de acuerdo a la zona en la que se llevara a cabo el estudio. Los datos más valiosos se obtienen mediante muestreos repetitivos en lugares de muestreo permanentes y por un largo período de tiempo. Sin embargo, la complejidad del arrecife y la distribución en parches complica la selección del lugar para él muestreo. El término “parche” se refiere a la distribución desigual y variable de los organismos del arrecife de coral en el espacio, por ejemplo, una porción del arrecife puede diferir en gran manera de otra porción en la cantidad de cobertura de organismos del arrecife.

En general mientras más grande sea el área sobre la que se distribuye los lugares de muestreo, más representativo será la muestra. A continuación, se describirán los muestreos más comunes que se utilizan en estudios de arrecifes, que son los siguientes:

i Muestreo estratificado.

Es cuando el área contiene una variedad de profundidades, hábitats marinos, u otras zonas identificadas, puede ser apropiado estratificar el área de estudio en zonas relativamente homogéneas y escoger un número proporcional de lugar de muestreo dentro de la zona. Requiere de inmersiones multinivel.

ii Muestreo al azar.

Es el muestreo donde el área de estudio seleccionada o en la zona estratificada debe ser al azar o la mayoría de las pruebas estadísticas no serán válidas. Escoger un medio de selección del área de muestreo antes de visitar el arrecife puede ayudar a eliminar la tentación de evitar un área que sería difícil de muestrear. Se debe asegurar la selección de cuadrantes al azar (áreas de muestreo cuadrados o rectangulares), transectos (área de muestreo lineales) o de colonias individuales.

iii Muestreo repetitivo

Es recomendable utilizar este tipo de muestreo cuando son sitios donde se realizará un muestreo permanente ya que los cambios temporales pueden ser utilizados para estimar cambios en las comunidades marinas a través del tiempo.

En los estudios de las comunidades arrecifales e ícticas se utilizan diferentes métodos (“*Manta tows*”, video trampas, transectos de cadena, cuadrantes, transectos de cinturón) para determinar la distribución, abundancia y diversidad en los sistemas arrecifales (Parker Jr *et al.*, 1994) .

Un problema de usar los métodos anteriores es que se ha visto que a través del tiempo se ha incrementado el daño a los sistemas coralinos (Brock, 1982) a consecuencia del daño que provocan los buzos a los corales debido a su incapacidad de realizar inmersiones que no destruyan o dañen los arrecifes (Rouphael y Inglis, 2001). Se siguen buscando nuevos métodos de muestreo fotográfico, que eviten todos estos daños colaterales.

La Anegadilla tiene la posibilidad de encontrar una alta o menor diversidad de especies coralinas y por ello requiere distintos métodos de muestreos ecológicos (cadena, punto-transecto, cuadrantes, etc.) no destructivos. Una alternativa son los censos visuales acuáticos con foto-transectos ya que reflejan la incidencia de las especies coralinas, patrones de la distribución y abundancia de especies del arrecife (Bacheler *et al.*, 2017; Villamizar *et al.*, 2014) .

La alternativa que se optó para continuar con este estudio ecológico en el arrecife es la utilización de Censos Visuales Acuáticos (CVA), ya que son una herramienta no destructiva en el estudio de los corales. Dentro de sus ventajas se encuentra que permiten el procesamiento de las imágenes con un mayor grado de detalle utilizando software especializado (*Infarview*) para mejorar y visualizar las imágenes, obtener evidencia fotográfica y análisis con mayor precisión en la distribución de las especies coralinas. Por ello los CVA aplicados en los foto-transectos brinda una alternativa viable.

Los foto-transectos son una serie de cuadros (fotos) en un acomodo consecutivo que permite registrar imágenes visibles de un sitio para su futuro análisis. El problema asociado a este método es que requiere de mucho tiempo para el procesar todas las imágenes capturadas, y por otro lado no se tiene la certeza que la observación de un buzo experimentado comparado con un buzo principiante sea la misma, pero genera la evidencia fotográfica cual sea el caso.

Otro problema asociado con la medida de los foto-transectos es conocer que tamaño de muestra puede adoptar. Para resolver este problema se considera el esfuerzo de trabajo en cada muestreo que es necesario para estimar el tamaño de la muestra, la cual identifica que los datos obtenidos sean representativos de la población. De acuerdo con García (2013) para el cálculo del tamaño de la muestra se requiere de la estimación de los siguientes parámetros como se observa en la ecuación 1.

$$n = \frac{(t^2 * S^2)}{(p * \bar{X})^2} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde n: Tamaño de muestra mínima

t: *t* de *student* al 95 % de confianza

s²: Varianza del número de especie encontradas por foto

p: Precisión

\bar{X} : Promedio del número de especies encontradas por foto

3.1 ALCANCE DE LA RELACIÓN ECOLÓGICA EN LA ZONA DE ESTUDIO Y LA METODOLOGÍA

El alcance y las repercusiones futuras de este trabajo son amplias y podrían relacionarse incluso con problemáticas como el cambio climático, el cual es un fenómeno que afecta a la mayor parte de las regiones oceánicas (Australia, Asia, India, Polinesia, Caribe) y provoca el blanqueamiento de los sistemas coralinos (Liu *et al.*, 2006; West y Salm, 2003) que culmina en la extinción de los sistemas arrecifales. Ante la grave problemática que se tiene a nivel mundial; los arrecifes del PNSAV son especiales debido a que están en constante estrés ambiental y aun así continúan con su crecimiento, esto puede deberse a su ubicación biogeográfica o su estructura geomorfológica, por lo cual son una fuente que se debe aprovechar para obtener conocimiento científico en la aportación de información a problemas de escala global.

Tomando en cuenta lo descrito anteriormente, se plantea que el tamaño de la Anegadilla no es mayor a centenas de metros, por ello la aplicación de la metodología empleada en este trabajo brinda una opción factible al problema por cuatro situaciones: a) El mapa batimétrico favorece la planeación de inmersiones y la ubicación de zonas coralinas, b) Los foto-transectos generan datos que no dañan a los corales además de ser eficientes y confiables para la zona de estudio, c) Acumula la evidencia fotográfica de las zonas coralinas y d) Genera bases de datos para posteriores estudios científicos. Sin embargo, una limitación es el tiempo debido que el proyecto es de solo un año, al compararlo con un programa de monitoreo ofrece un periodo de tiempo más prolongado de 5, 10 o 20 años con la finalidad de realizar un protocolo ecológico. Otra limitación es que en biología los resultados son solo circunstanciales, en biología nada es determinístico, por lo que este trabajo solo marca la descripción y registro para futuros trabajos. Es recomendable utilizar las metodologías de los programas a nivel internacional, que brindan una forma de trabajo adecuada que se verán en el siguiente apartado.

3.2 PROGRAMAS DE MONITOREO DE ARRECIFES CORALINOS.

i Metodología AGRRA (Evaluación del Arrecife Rápido del Atlántico y del Golfo)

La metodología del AGRRA propone que el sitio de muestreo debe ser de un mínimo de 200 m x 200 m de extensión espacial con una profundidad de 5 a 20 metros adecuadamente, con un muestreo aleatorio estratificado y sitios previamente geolocalizados. Estipula que el número de buzos requeridos para completar el estudio en una sola inmersión depende de la profundidad, la geomorfología del hábitat, la abundancia, diversidad y tamaño de los corales, y se requiere un mínimo de 2 buzos, solo para el estudio coralino. Los transectos deben tener una longitud de 10 m para los corales. El estudio se realiza mediante censos visuales, preferiblemente de 10:00 a 14:00 horas, cuando la visibilidad bajo el agua se encuentra al máximo debido a la incidencia de la luz directamente sobre el área de estudio. Todos los datos se registran en tablas predeterminadas por la AGRRA proporcionados en su página web, que incluye código de especies, medidas, enfermedades, estado fragmentado o en colonia, entre otros (Lang *et al.*, 2010).

ii Metodología CARICOMP (Productividad Marina Costera del Caribe)

El protocolo de la CARICOMP tiene como objetivo la evaluación de la incidencia y distribución de las enfermedades que afecta a los corales en la región del Gran Caribe. Dentro de este protocolo se incluye una amplia cantidad de métodos (transectos de cadena, cuadrantes, transectos lineales, entre otros.) que coinciden con el estándar del AGRRA en transectos de banda de 10 m de largo por 2 de ancho por cada localidad en un intervalo de profundidad donde la unidad de muestreo es la colonia o *ramet*. Las especies del ramet pueden ser identificadas por lo menos llegando a género y se debe describir su forma conforme a los lineamientos CARICOMP, se determina si cada ramet es saludable o no, y si no, en la categoría en que se encuentran (blanqueamiento, fragmentados o enfermos (CARICOMP, 2001) .

Metodología AIMS (Instituto Australiano de Ciencias Marinas)

El programa de monitoreo a largo plazo está diseñado para detectar cambios en las comunidades arrecifales a escala subregional. La obtención de datos de especies bénticas marinas se hace mediante transectos de banda con 50 m de largo por 2 m de ancho con cámaras digitales 2 D, con transectos por sitio, examinando primero el perímetro del arrecife mediante “*Manta tows*” (un miembro del equipo es remolcado por una lancha, mientras que éste observa el arrecife debajo de él). De los tramos continuos del arrecife se elige uno al azar, donde se realiza el estudio propiamente dicho (evaluación de la abundancia, diversidad y enfermedades); cada sitio debe estar separado 250 m del anterior, siempre que sea posible y con una profundidad entre 6 y 9 m paralelo a la cresta del arrecife (AIMS, 2011) .

De las tres metodologías mencionadas la que se empleó en este estudio fue la metodología AGRRA debido a que tiene mayor compatibilidad con la zona de estudio y estandarización en el muestreo con los foto-transectos. En el caso de las enfermedades y afectaciones en los corales se utiliza la metodología CARICOMP ya que brinda bases de datos con evidencia fotográfica en su sitio web. En el caso de la metodología AIMS no se tiene el equipo necesario ni la capacitación de la técnica de muestreo *Manta tows* por ello no se puede aplicar en este estudio, sin embargo, considera los transectos de banda y contempla el constante estudio de los arrecifes para programas de monitoreo que puede llevarse a cabo si se da seguimiento a este tipo de trabajos.

CAPÍTULO IV. DISTRIBUCIÓN, DIVERSIDAD Y ABUNDANCIA CORALINA

Para los estudios de distribución, abundancia y biodiversidad de especies en sistemas arrecifales se requiere de la correcta planeación de muestreos a diferentes escalas geográficas (Bellwood y Hughes, 2001; Munday, 2002) . Para arrecifes de pequeño tamaño como los del sur del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV), la escala en la que ocurren los diferentes fenómenos como zonación y distribución de especies se ubica a nivel de entre decenas y centenas de metros según (Ortiz-Lozano *et al.*, 2007) . La mayoría de los estudios sobre corales y peces, consistentes en censos visuales y fotobandas que se efectúan mediante buceo libre y buceo SCUBA (Rogers y Garrison, 2001) en tramos de 20 m y 30 m, para ello resulta fundamental el conocimiento de la batimetría de la zona de estudio (Arredondo-Figueroa *et al.*, 1983; Kuchler *et al.*, 1988).

Un primer aspecto que permite establecer los muestreos preliminares son los tipos de distribución espacial de las poblaciones y los métodos de muestreo como se explicó en el capítulo III. Es común que en la literatura se consigue muchos patrones de distribución, aunque en la práctica se reconocen principalmente tres:

i Distribución al azar o aleatoria.

Se considera el arreglo más sencillo y se argumenta que la presencia de un individuo de una población no interactúa o son diferentes a la presencia de otros. Las interacciones positivas y negativas no se dan, se considera que todo el espacio es susceptible de ser habitado.

ii Distribución uniforme o regular.

En este tipo de arreglo se considera que todo el espacio es igualmente habitable, los individuos interactúan compitiendo por recursos (alimento, espacio, entre otros.) lo cual obliga a que cada individuo ocupe un territorio constante. La competencia es un fenómeno universal por lo que esperaríamos que este tipo de arreglo fuera el más frecuente, sin embargo, esto no es así ya que la misma competencia los restringiría y en casos en donde se ha observado corresponden especialmente a ecosistemas terrestres.

iii Distribución agregada o agrupada.

En este caso se considera que el hábitat no es uniforme y que se puede presentar zonas óptimas, medias o nulas de habitabilidad lo cual determina el tamaño de densidad poblacional.

Estadísticamente los arreglos anteriores de distribución se pueden reconocer a partir de un número arbitrario de muestras recogidas durante los muestreos preliminares, para estos casos se calcula la porción media y la varianza, cuando los valores son muy similares se aceptan que la población presenta una distribución azarosa (varianza=media), cuando el valor de la media es superior al de la varianza se trata de una población con arreglo uniforme (varianza>media) y cuando la varianza es mayor al valor de la media se trata de una población agregada (varianza<media).

Una de las propiedades más complejas y difícil de medir dentro de las comunidades es la diversidad la cual tiene dos componentes:

i Riqueza de especies

Esta propiedad es el número de especies que se encuentran en determinado lugar o sitio es una medida de la diversidad alfa.

ii La equitatividad

Describe el nivel de repartición de los individuos entre las especies. En medida en que la abundancia de las especies sea más similar entre ellas, es decir, más equitativa, mayor será la diversidad.

Debido a que es imposible representar gráficamente la diversidad total de una comunidad (por lo menos en dos o tres planos) al evaluar su estructura es necesario crear un función o número que describa la estructura de la comunidad. De aquí surgen los índices de diversidad. Existen tres grandes grupos de índices basados en: la riqueza de especies, modelos de abundancia y la abundancia proporcional.

Los índices en modelos de abundancia se basan en la forma en que se acumulan los datos de números de especies y de abundancia de cada una. Cada modelo de abundancia es una ecuación matemática (generalmente compleja) en la cual sus parámetros (número de especies, número de individuos, entre otros) deben describir el comportamiento de la diversidad dentro de la comunidad. Existen cuatro modelos principales que siguen las abundancias dentro de una comunidad que se mencionan a continuación: distribución normal logarítmica, serie geometría, serie logarítmica (modelo exponencial) y del “palo quebrado” no se entrara en detalle porque el estudio no se basa en estos modelos.

En la diversidad arrecifal se requieren estrategias que permitan reconocer la presencia-ausencia de especies coralinas, la abundancia y distribución espacial en distintas zonas del arrecife (Arias-González *et al.*, 2012; Weinberg, 1981) . Para ello, el empleo de índices de diversidad representa la parte inicial en el estudio de las comunidades coralinas, lo cual resultará útil para la conservación biológica del arrecife (Alvarez-Filip *et al.*, 2006; Cleary *et al.*, 2005; Flos, 2005) . A continuación, se presenta los índices que se utilizaron en este trabajo para la estimación de la diversidad y abundancia del arrecife.

i Riqueza específica

La riqueza específica (S) es la forma más sencilla de medir la biodiversidad, ya que se basa únicamente en el número de especies presentes, sin tomar en cuenta el valor de importancia de estas.

ii Margalef

Para valorar la riqueza específica se emplea el índice de (Margalef, 1969) cuya formulación es la siguiente (Moreno, 2001) .

$$DMg = \frac{S - 1}{\ln N} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde S: número de especies
N: número total de individuos

iii Shannon-Wiener

El índice refleja la heterogeneidad de una comunidad sobre la base de dos factores: el número de especies presente y su abundancia relativa (Moreno, 2001). Este índice (o función) se creó originalmente por Shannon y Wiener (*The mathematical theory of communication*, 1963) para medir la cantidad de información presente en un sistema binario que está dado por:

$$H' = - \sum_{i=1}^S \pi_i \ln \pi_i \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde π : Abundancia proporcional de la especie i , es decir, el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra.

Se definió, inicialmente, utilizando el logaritmo de base 2 y se expresaba en unidades de bits. En ecología se usa comúnmente el logaritmo neperiano, y se expresan entonces en unidades de natios, aunque en la actualidad se tiende a expresarse sin unidades.

Su valor suele recaer entre 1.5 y 3.5, solo raramente sobrepasa el valor de 4.5, en sistemas muy entrópicos o complejos.

iv Simpson

Para explicar la estructura de la comunidad se empleará el índice de Simpson que utiliza los índices basados en la riqueza específica (Margalef), equidad (Shannon) y dominancia.

$$\lambda = \sum_{i=1}^k p_i^2 \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde p_i : Abundancia proporcional de la especie i , es decir, el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra

Aunque el índice de Shannon-Wiener considera la uniformidad de las abundancias, es posible comparar por separado la equitatividad de las comunidades utilizando

índices de equitatividad. El índice más conocido para esto es el de Pielou (J'). Este índice no es más que la proporción entre la diversidad real de la comunidad y la diversidad máxima que esta pudiera tener (para una S determinada, es cuando la equitatividad es máxima).

v Índice de Pielou

Mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Su valor va de 0 a 1, de forma que 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes.

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde H' : Índice de Shannon-Wiener

H'_{max} : Diversidad Máxima, que es logaritmo natural del número de especies

Los índices anteriores son los más utilizados en estudios científicos. Dependiendo del autor sugiriera utilizar estos y otros más, pero el fin de este estudio es solo recurrir a los índices que tienen mayor compatibilidad con los reportes de la zona de estudio y como se ha explicado en la importancia de la zona de estudio (capítulo II) no se tiene reporte alguno, por ello los índices ecológicos de diversidad adolecen de serios problemas de índole teórica y práctica. Pero proveen de una información útil y relativamente fácil de obtener con fines de caracterización y comparación de las comunidades dentro de un sistema.

Planteamiento del problema

El Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano está conformado por 23 arrecifes, la mayoría de ellos contienen información cultural, económica e histórica de importancia científica, sin embargo, no todos están bien estudiados en su totalidad. Dentro de estos 23 arrecifes se ubica la Anegadilla que engloba pocos o nulos estudios de carácter científico, asimismo, debido al bajo grado de resolución de los mapas batimétricos disponibles de la zona, las escalas son poco apropiadas para tomarse como punto de partida hacia el inicio de estudios detallados de carácter ecológico. A pesar de dicha limitante, se puede apreciar que existe una geomorfología compleja con profundidades menores a los 50 m y distintos tipos de relieve, donde sobresalen pendientes pronunciadas, zona de rompimiento de olas, planicie arrecifal, paredes, y cresta arrecifal. Dicha geomorfología implica una posible riqueza de microhábitats y en consecuencia de diversidad biológica; de allí la importancia de estudiar su casi desconocida diversidad y abundancia biológicas, y particularmente la coralina.

OBJETIVOS

General

- ✚ Describir la distribución y abundancia biológica de especies coralinas del arrecife la Anegadilla del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, con el fin de conocer los patrones de distribución de especies coralinas en un gradiente batimétrico.

Particulares

- ✚ Elaborar un mapa batimétrico de la zona de estudio para conocer cuáles y dónde están las especies coralinas dentro del área que deberían ser administrado por PNSAV.
- ✚ Elaborar un listado de especies coralinas para identificar la presencia de especies coralinas en la zona de estudio.
- ✚ Cuantificar las especies y densidades poblacionales en escleractíneos para comparar la diversidad con el arrecife más cercano a la Anegadilla.
- ✚ Describir el grado de daño en las especies coralinas para observar los impactos de las actividades humanas y perturbaciones al arrecife.
- ✚ Ubicar las zonas coralinas definidas por especies dominantes y por características geomorfológicas para conocer cuáles son sus patrones de distribución.

JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

La alta complejidad geomorfológica combinada con la caracterización de niveles batimétricos, puede ser un factor que defina zonas ecológicas particulares para la ubicación y distribución de especies coralinas, debido que ciertas especies pueden adaptarse a distintos regímenes de incidencia de luz, flujo de las corrientes marinas, influencia del oleaje, dióxido de carbono disuelto, pH. Por la etapa de cambio climático que se está viviendo en la actualidad, el conocimiento de zonas como la Anegadilla da pauta al conocimiento real de su valor y repercusión para el resto del sistema arrecifal por su papel como zonas de resguardo, de hábitats potenciales, de reproducción de especies para repoblamiento, y el discernimiento de escenarios futuros de migración, repoblación, extinción e invasión de especies.

Debido al papel fundamental de la complejidad geomorfológica, es importante anteponer la elaboración de un mapa batimétrico de la zona como herramienta antecedente a los estudios ecológicos, y en consecuencia vincular dicha herramienta con métodos no destructivos como los foto-transectos para la evaluación de parámetros ecológicos que ayuden a definir tanto espacial como temporalmente la complejidad biológica y su zonación dentro del arrecife, además de generar una base para monitoreo futuro y otros estudios de carácter taxonómico, oceanográfico, geológico, biogeográfico, hidrológicos, etc. para el manejo y conservación de La Anegadilla y de los aportes hacia el resto del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano.

HIPÓTESIS

Más que una hipótesis, en los trabajos de tipo descriptivo como éste, es necesario el establecimiento de fundamentos teóricos a partir de los cuales se desarrolle la investigación. Este trabajo se fundamenta en los siguientes principios:

La profundidad es una característica física del arrecife que contribuye a la presencia-ausencia de especies coralinas, por lo que el tipo de relieve y la complejidad estructural determinan la riqueza y abundancia de especies. En este arrecife, dichos factores son producto de la dinámica de las masas de agua, historia geológica y ubicación espacial en el Sistema Arrecifal Veracruzano, lo que repercute en su potencial riqueza específica.

Por lo anterior se espera que en primera instancia la distribución de las especies coralinas dependa significativamente de la profundidad, y junto a los demás factores geológicos e hidrobiológicos se definan patrones de distribución espacial y temporal importantes.

MATERIAL Y MÉTODO

Área de estudio

El arrecife la Anegadilla se encuentra ubicado en las coordenadas 19° 08' 15.0" latitud norte y 95° 47' 43.5" longitud oeste el cual se suma a los 22 arrecifes del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) (figura 1). Los mapas que se tienen a disposición (Ortiz-Lozano *et al.*, 2005) sobre este arrecife no contienen una escala adecuada, dicha carencia se puede atribuir al pequeño tamaño de su plataforma (alrededor de 0.156 Km²).

Los arrecifes coralinos del PNSAV se encuentran agrupados en dos sistemas, cada uno con dos subgrupos: El Sistema Arrecifal de Tuxpan (SAT) y el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV). El segundo grupo de arrecifes en el SAV, o grupo del sur, se localiza frente a la costa del pueblo pesquero Antón Lizardo y comprende 12 arrecifes de plataforma emergentes donde se encuentra la Anegadilla.

Este estudio está sujeto a las condiciones climáticas debido a que la región de acuerdo a la clasificación de (García, 1998) es de tipo AW'' Z(w)(i) caliente sub-húmedo a húmedo con lluvias en verano, con dos temporadas principales: una llamada temporada de norte y otra denominada temporada de lluvias. La temporada de norte se presenta de septiembre a abril y se caracteriza por tener poca precipitación, temperatura frías y frecuentes invasiones de masas de aire frío denominados norte (Salas-Pérez y Granados-Barba, 2008; Velasco y Winant, 1996) . La temporada de lluvia, se presenta de mayo a agosto, con temperaturas cálidas alta precipitación y vientos débiles de Este. En el PNSAV, la temperatura promedio anual en la zona arrecifal es de 26°C, sin embargo, está sujeto al descenso de salinidad en algunas áreas (Tunnell, 2007) . Por lo anterior se contempla la planificación de las salidas a campo de acuerdo con la temporada. Por lo anterior se contempla la planificación de las salidas a campo de acuerdo con la temporada.



Fig. 1. Ubicación geográfica de la Anegadilla del Parque Nacional del Sistema arrecifal Veracruzano (PNSAV). El arrecife se encuentra en las coordenadas 19°08'15.0'' latitud norte y 95°47'43.5'' longitud oeste, tomado de (Google, 2015)

Elaboración del mapa batimétrico

En la obtención de los datos batimétricos se utilizó una Ecosonda Lowrance modelo HDS 10 con un transductor mono haz, y siguiendo la recomendación de Ortíz (2014) el ecosondeo se trabajó en zonas con profundidad mayor a 3 m. Para la visualización, generación y proyección de los mapas con los datos generados se utilizó el programa *Surfer 11*. Previamente los datos generados por la ecosonda contienen una extensión “.slg” que se exportó con el programa *SonarViewer* a formato “.scv”; finalmente con el programa *PCoordsLowrance* los datos se convirtieron de un formato nativo (.slg) a datos estándar como hojas de Excel necesarias para la batimetría (Figura 2). La ecosonda Lowrance HDS-10 tiene la opción de guardar el recorrido del ecosondeo en un extensión “.slg” esto permite tener mayor número de datos en un menor intervalo de tiempo.

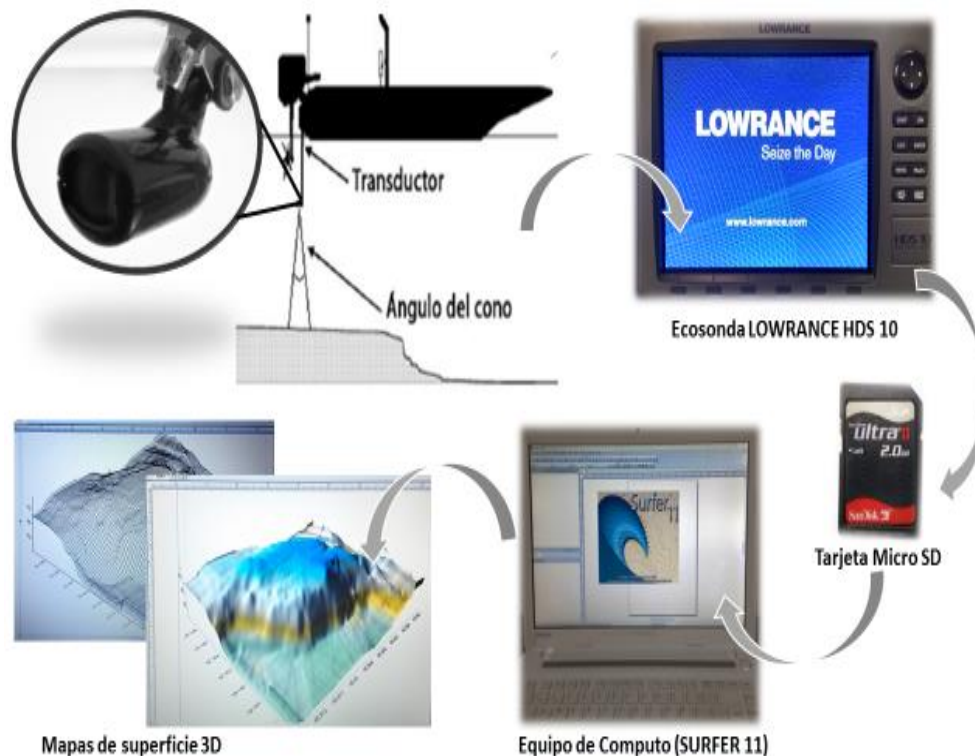


Fig. 2. Diagrama del proceso de obtención de datos. Tomado parcialmente de

La sensibilidad se puede ajustar al nivel que se desee, pero depende de la visibilidad en la pantalla de la ecosonda al momento de realizar el recorrido (Figura 3). Se ajustó la sensibilidad al 70 % que ayuda a mostrar el máximo detalle con el mínimo ruido posible.

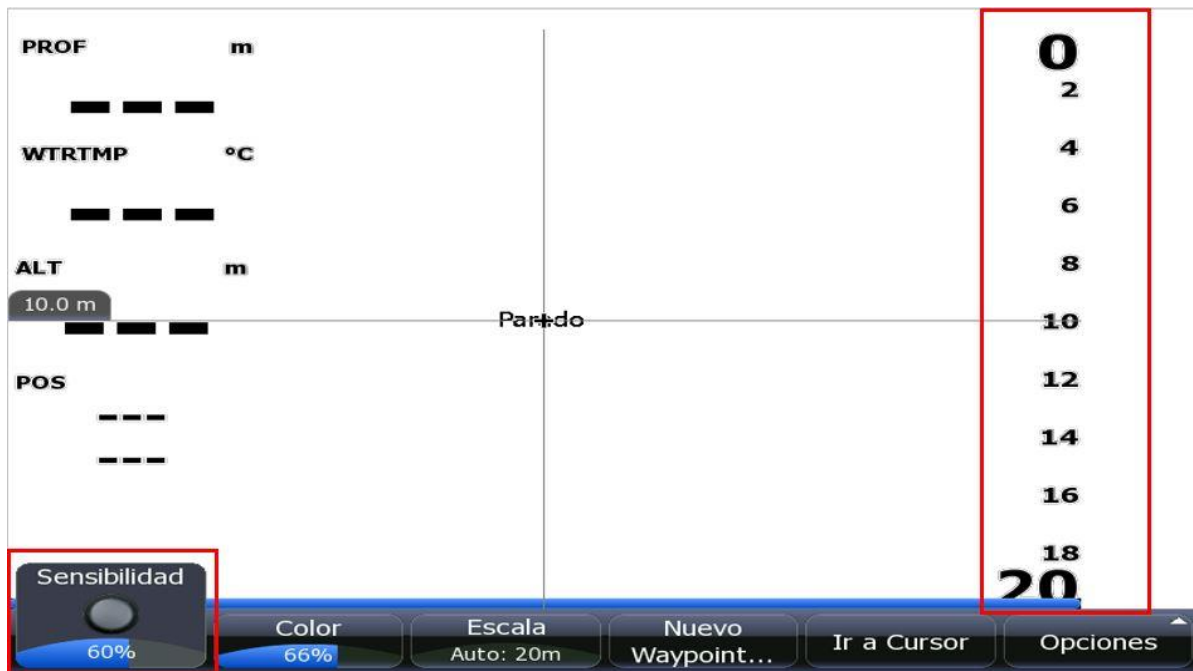


Fig. 3. Ajuste de la sensibilidad y la profundidad de la ecosonda. La sensibilidad se ajusta para tener una mejor visibilidad en la pantalla y la profundidad cambia conforme el bote avanza.

Frecuencia del transductor

El transductor de la ecosonda admite tres frecuencias (200, 83, y 50 KHz) el de 83 kHz ofrece un ángulo de cono más amplio para una mayor cobertura en el agua, el de 50kHz proporciona la mejor penetración con un ángulo de 20° y finalmente de 200 kHz que tienen la sensibilidad más alta, con un ángulo de 8° y la discriminación de blanco a menor profundidad. Al momento de grabar el recorrido se utilizó una frecuencia de 200 kHz donde se obtiene una resolución consecutiva con mayor número de repeticiones para obtener los datos de profundidad (Figura 4).



Fig. 4. Frecuencia disponible de la ecosonda. Esta frecuencia se ajusta preferentemente a 200 KHZ

Selección de área

Con la finalidad de identificar el hábitat de las especies coralinas que existen en determinadas áreas del arrecife la Anegadilla se seleccionaron zonas geomorfológicas al azar de acuerdo con el mapa batimétrico en la zona menos profunda a un intervalo de 10 m. A partir de lo anterior se estimó el grado de éxito de las especies coralinas en el arrecife mediante la abundancia específica, abundancia por especie e índices de diversidad.

El equipo que se requirió para realizar los foto-transectos fue el siguiente: dos cámaras CANNON powershot G12 con estructuras sumergibles (housing) que cuentan con una barra que le brinda estabilidad perpendicular y rígida que no afecta la geometría de los foto-transectos y les proporciona el ángulo correcto (previamente calibrado), una cinta métrica de 30 m, computador de buceo, brújula sumergible y el equipo S.C.U.B.A.

Procesamiento de datos

Una vez obtenidas las imágenes de los foto-transectos se procedió al realce de colores con el programa de cómputo *Infarview* (Figura 5). Esto facilitó la identificación de las especies coralinas para su clasificación taxonómica y para los conteos de especies e individuos. La determinación taxonómica de los corales se realizó con las siguientes fuentes: *Coralpedia*, *Fish and Coral Identification Aids de AGRRA* y *Reef Coral identification* de Humann y DeLoach (1993).

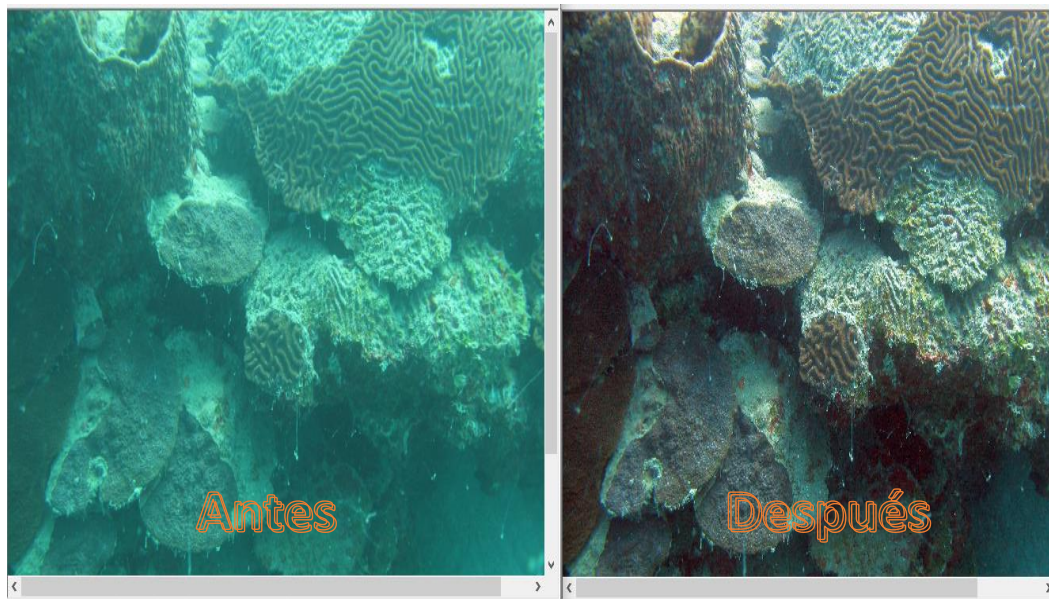


Fig. 5. Realce de colores en cada Tabla del foto-transecto por medio del programa *Infarview*. La imagen de lado izquierdo no tiene realce de colores a diferencia de la imagen del lado derecho.

Una vez seleccionadas las áreas (esto se muestra en la figura 6) y hecho el realce de color en las imágenes, se generaron mosaicos de imágenes. Los mosaicos permiten saber el grado de traslape entre cada imagen alrededor del 70 % entre cada imagen. A partir de las imágenes individuales se contabilizaron las especies de corales exportada a una hoja de Excel (con nombre científico de la especie, numero de foto, coordenadas geográficas, tipo de fondo, hora, fecha, número de especie, entre otros) se considera la extensión de cada escena como unidad de área de muestreo. Esto conlleva al listado de especies por imagen.

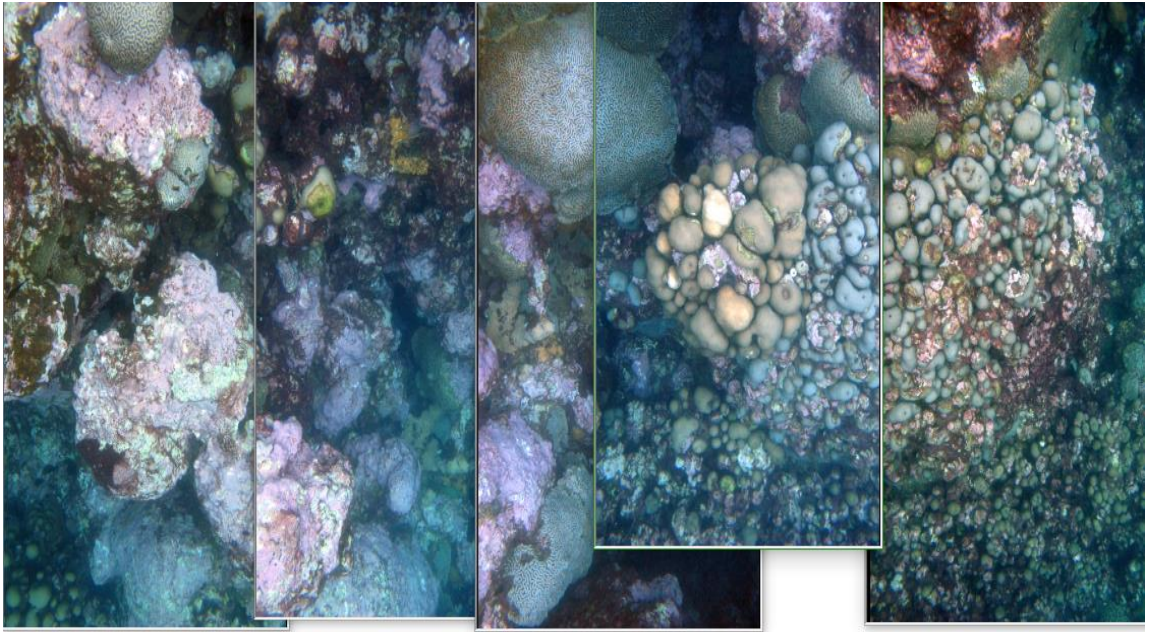


Fig. 6. Mosaico de las bandas realizados en el arrecife la Anegadilla, Veracruz. El mosaico se logra con un 20 % de traslape en cada imagen consecutiva del foto-transecto para observar con mayor claridad las especies coralinas.

Conteo de las especies

Se definieron criterios en cada imagen de las especies con el fin de estandarizar el conteo; como tomar en cuenta a un organismo completo si cubre una superficie dentro de un margen del 70% del foto-transecto, no contemplar organismos que tengan menos del 30% dentro de la imagen, contabilizar a un organismo como completo si cubre una superficie dentro de un margen del 100%, cuando un organismo tiene un 50% dentro de la imagen pero aparece en la parte superior (con el mínimo de traslape) se contara una sola vez al organismo y los individuos no identificados por fallos fotográficos (movimiento, sobre exposición, borrosas,) no se contemplan en el conteo.

Una vez obtenidas las hojas de Excel en cada foto-transectos se realizaron los conteos con el programa *Spiccer* desarrollado en el Laboratorio de Ecología Acuática de la FES Zaragoza. Al iniciar, el programa solo ejecuta una sola ventana, para iniciar al conteo se debe seleccionar en la barra de menú (nuevo proyecto) y se guarda donde uno desee (Figura 7).

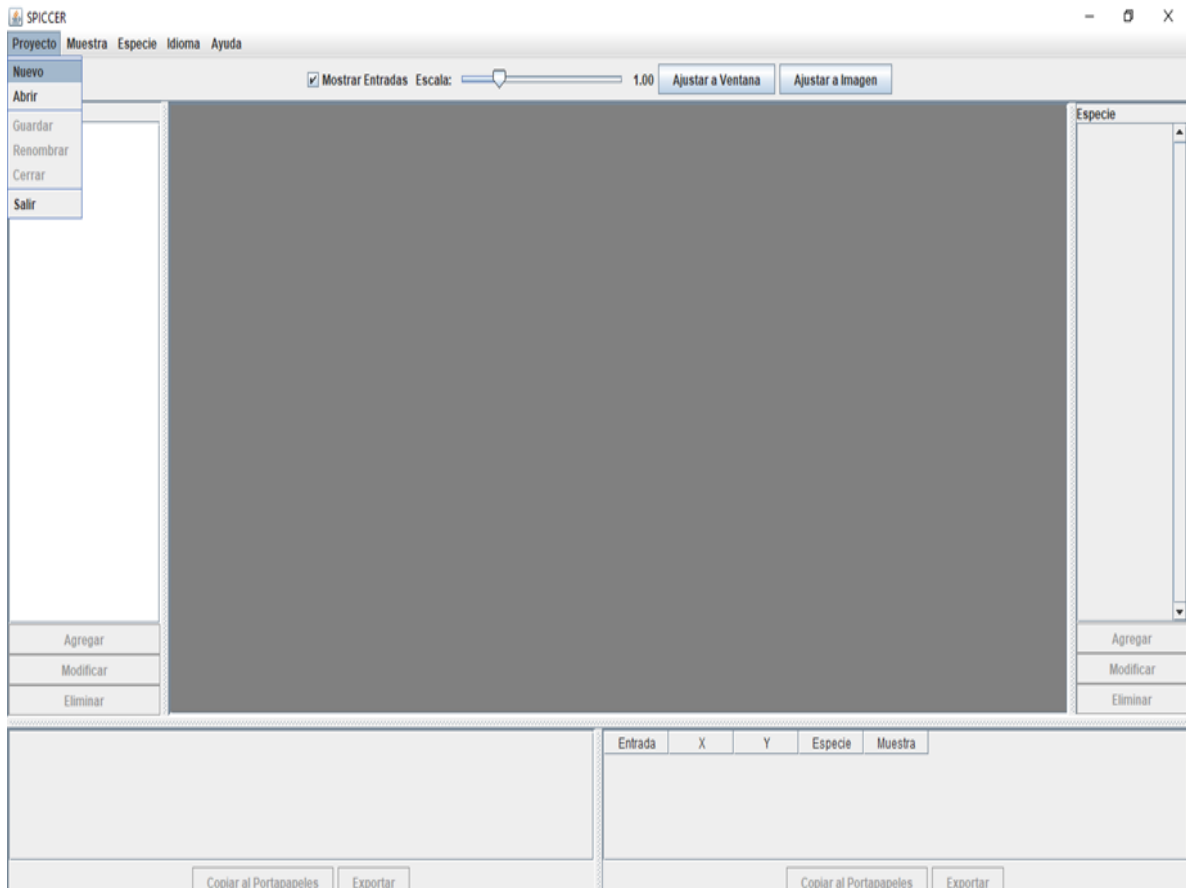


Fig. 7. Software Spiccer para el conteo de especies. Ventana inicial del programa, de lado izquierdo se insertan las imágenes de los foto-transectos a contabilizar, en la parte central es el área de trabajo para colocar puntos de referencia (landmarck) en los corales y de lado derecho las especies de referencia.

El software facilita la identificación de las especies coralinas mediante el uso de imágenes, si un usuario tiene poca experiencia en la determinación taxonómica de las especies, se buscan imágenes de referencia en páginas web como Coralpedia, AGRRA y Piesacom (programa de investigación espacial en ambientes costeros y marinos, UMDI-Sisal) y guardarlas en la computadora sobre las especies en la que se trabaja, a continuación, en el lado derecho se agregan en la tabla de control (Agregar) y se busca las imágenes donde se guardaron en la computadora y se seleccionan para abrir en el área de trabajo. Se asigna un color preferido en la tabla de control-modificar (Figura 8).

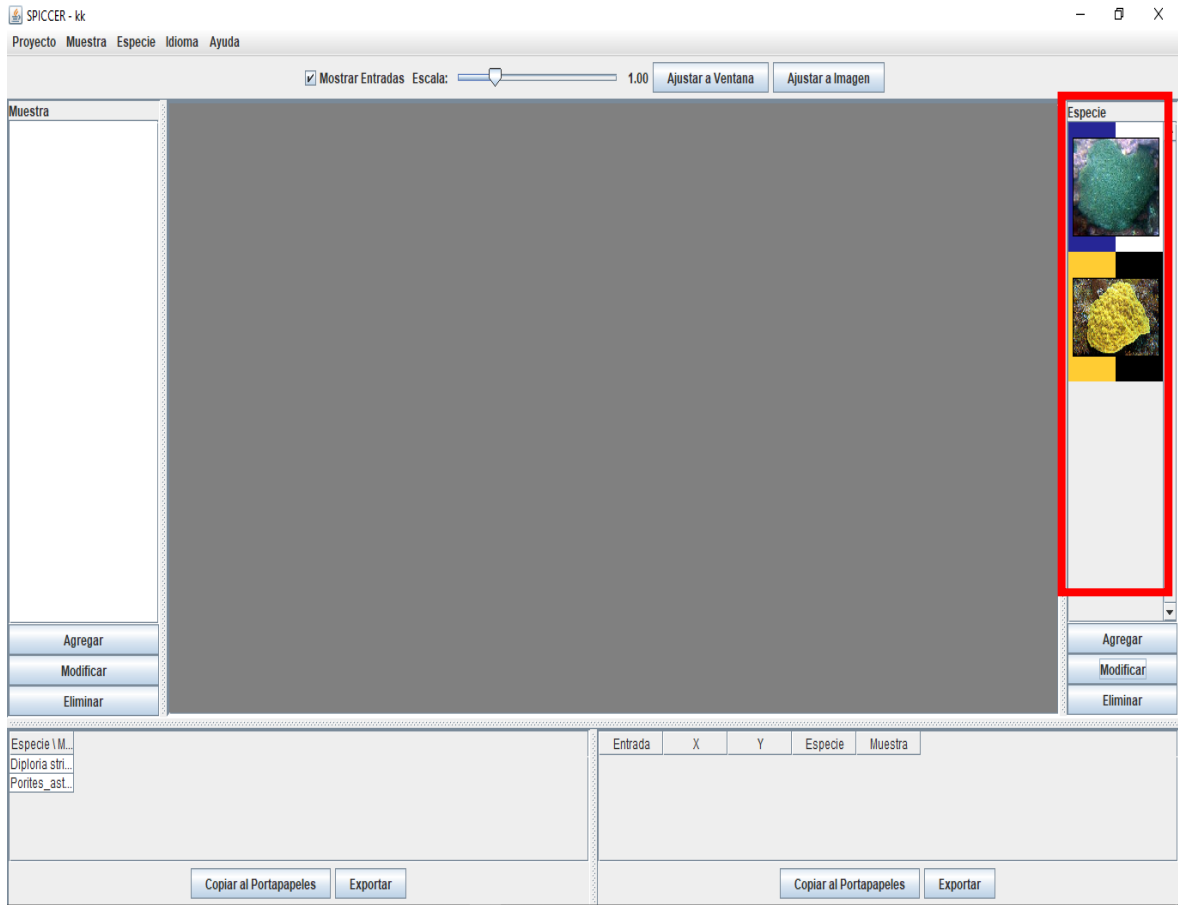


Fig. 8. Agregar especies de referencia en el software Spiccer. Las imágenes de referencia fueron tomadas de , guías de campo y AGRRA.

Se continúa con la selección de las imágenes de los foto-transectos los cuales se ubican dentro de la tabla (como se muestra en el rectángulo rojo de la figura 9) y automáticamente se agrega en el área de trabajo. Se comienzan a seleccionar las imágenes del foto-transecto previamente corregidas con los corales identificados. Para poder comenzar a contabilizar las especies se da un clic derecho en la imagen de la especie de referencia (color azul), nuevamente un clic derecho pero esta vez en la imagen central (foto-transecto) y finalmente un clic izquierdo nuevamente en la especie (color azul). Esto genera un punto de color previamente elegido dentro de la imagen central.

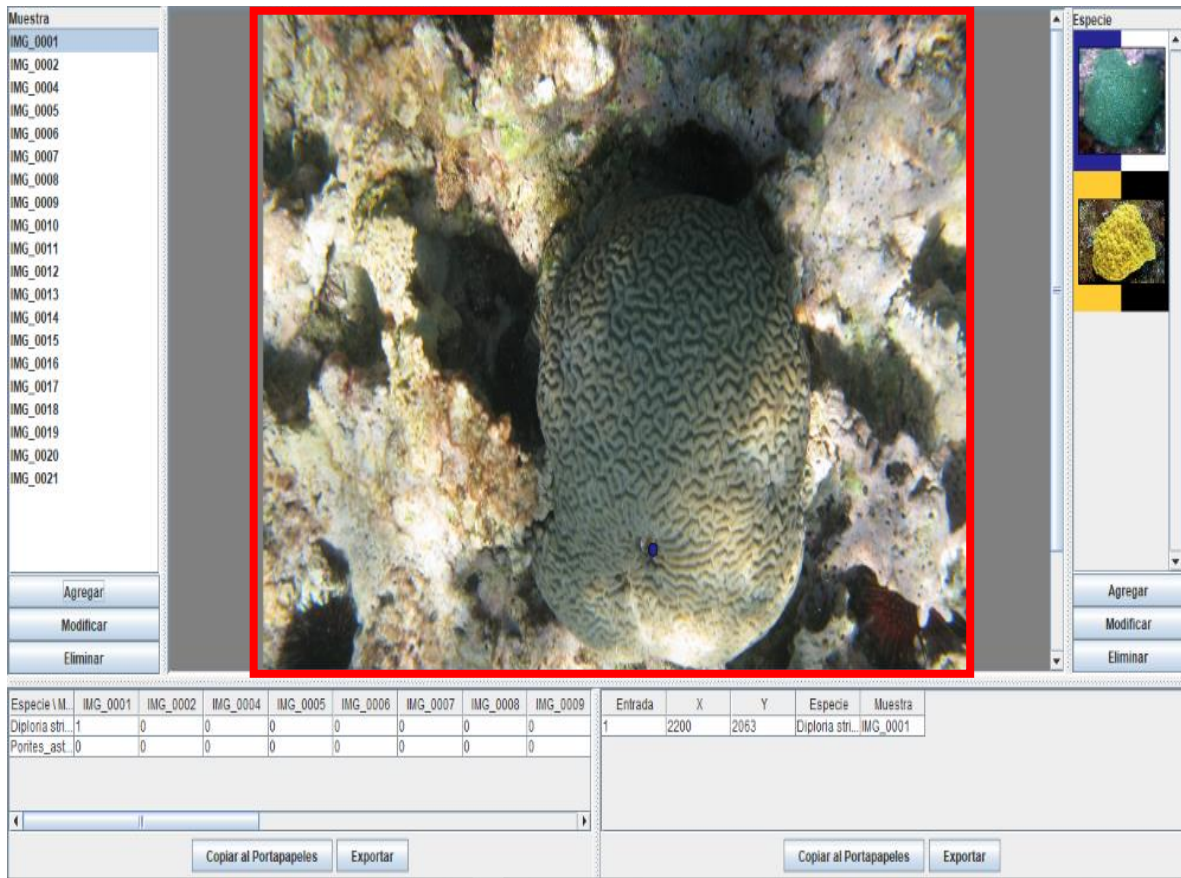


Fig. 9. Identificación de las especies en el programa Spiccer. Se colocan puntos de referencia (landmarck) con un color elegido, en este caso se trata de una *Pseudodiploria strigosa* (PSTR) en color azul. En el caso de que fuera la especie un *Porites astreoides* (PAST) el landmarck sería amarillo.

En la parte inferior izquierda y derecha aparece en la tabla que automáticamente se comienzan a rellenar cuando se marca un landmarck (puntos de referencia) con información propia del software misma que se exporta a una hoja de cálculo con el cálculo de las especies.

La hoja de cálculo exportada del software *Spiccer* contiene los datos de la contabilidad de las especies en la cual se calculó la abundancia específica y abundancia por especie, utilizando los índices de diversidad de Margalef, Menhinick, Shannon-Wiener y Simpson que se usan en los estudios ecológicos en sistemas arrecifales.

RESULTADOS

Batimetría del arrecife de la Anegadilla

Se realizaron una serie de rutas alrededor del arrecife de la Anegadilla que marca cada isóbata. Al inicio del ecosondeo se planeó realizar isobatas en forma rectangular alrededor del arrecife (figura 10). Se dejó un espacio de 5, 10 y 20 m de distancia entre cada una, sin embargo, las interpolaciones mejoran al momento de hacer las isobatas a menor distancia (entre 2 o 3 metros). Se requiere de hacer mayor cantidad de isobatas intermedias entre cada ruta además de vueltas con distancia entre 50, 100 y 150 m del arrecife.

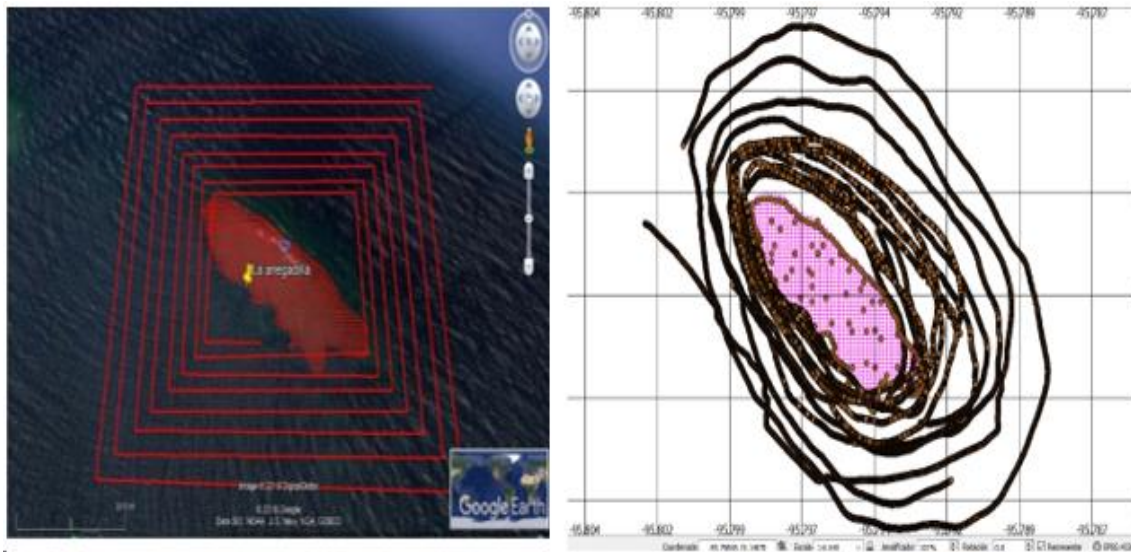


Fig. 10. Isobatas realizadas al arrecife la Anegadilla, Veracruz. La imagen de la izquierda visualiza las rutas planeadas con Google Earth Pro y la imagen del lado derecho fueron las rutas reales del ecosondeo visualizado con el Sistema de información Geográfica QGIS V2.18.3

Con la finalidad de obtener datos lo más fidedignos posible se trabajó bajo buenas condiciones de campo, para lo cual se consideró el pronóstico del tiempo de la página “Windfinder”; se eligieron sesiones con vientos menores a 6 nudos en la escala de Beaufort, lo que implicó una variabilidad máxima de 1.0 m debida al oleaje; así mismo se consideró el nivel medio de marea correspondiente a la hora de ecosondeo.

Con la finalidad de conocer el grado de error entre la ecosonda y la profundidad real se realizó una medición sumergiendo por completo un tubo de metal de longitud conocida (2 metros) en un punto elegido de forma aleatoria dentro del arrecife. Posteriormente, se registró el valor de profundidad en el mismo punto empleando la ecosonda. Los valores obtenidos correspondieron a 2 m para la medición realizada con el tubo y 1.80 m en la medición de la ecosonda. Dado esto, el grado de error para cada medición fue de 0.20 m, no obstante, se consideró también una oscilación de +/- 0.30 m debido a la fuerza del oleaje.

La profundidad máxima registrada fue de 43 m en la región sur y en la región norte fue de 30 m. La zona norte presentó un tipo de fondo rocoso (coordenadas 19.142 norte y 95.792 oeste) con una profundidad de 20 m, y para la región sur (Coordenadas 19.135 sur y oeste 95.797) se presenta un tipo de suelo arenoso. En la región suroeste se encuentran relieves con elevaciones denominadas localmente como picachos. Bajo el principio de “redundancia” se siguieron rutas extra de forma transversal y perpendicular, con base en las rutas previas del ecosondeo, esto para obtener mayor confiabilidad en el mapa al momento de hacer las interpolaciones e isobatas (Figura 11).

El plano batimétrico de la zona de estudio fue creado electrónicamente con vista 3D a partir de los datos procesados en laboratorio con puntos de igual profundidad y la distancia entre cada una de las isobatas es de 2 m que se ilustran en la figura 11.

Entre las características más importantes del arrecife se destaca su morfología de tipo plataforma sumergida (1 m promedio de profundidad); su ubicación alrededor de las coordenadas latitud 19.14° N y longitud 95.793° W; un ancho de 0.23 km y un largo de 0.78 km; en la periferia de la plataforma se encontraron caídas con pendientes casi verticales. La profundidad máxima es de 43 m y la mínima de 4 m.

El mapa presenta una escala de 1:300 del arrecife lo que lleva a una escala con mayor resolución en los acercamientos tridimensionales, a diferencia de los mapas que se reportan del Parque Nacional del sistema Arrecifal Veracruzano que contienen un grado de mayor escala (1: 100 000). El mapa de la Anegadilla posee

la escala conveniente para identificar el parámetro de profundidad necesario para la descripción de las especies coralinas. En la Figura 12, se observan las isobatas las cuales permiten visualizar el fondo del relieve con mayor claridad, debido a la interpolación por el método de la mínima curva donde se trata de producir la superficie continua de mínima curvatura sobre la cual todos los puntos de observación estén anclados (isobatas).

Se encontró que el arrecife es estructuralmente complejo (figura 12), debido a que en la zona sur posee: pendientes con un ángulo de inclinación de 90° a una profundidad mayor a 30 m (figura 12, b), estructuras rocosas y pequeñas formaciones denominadas por gente local como “Picachos”. En la zona norte se observa tres niveles de profundidad (15, 25 y 30 m) (figura 12, a) zona inicial para realizar descensos, con suelo arenoso y relieve poco accidentado. Se infiere que la mayor parte de los corales en estas zonas se encuentran adaptados a condiciones de baja probabilidad de sobrevivencia por lo que son punto clave para la identificación de parámetros ecológicos (la incidencia de luz, la fuerza del viento, las corrientes provenientes del Golfo) que determine factores de erosión, patrones de fuerza del viento y marea, entre otros.

Las isobatas del arrecife mostraron que el relieve del fondo marino presenta distintos rangos de profundidad, los cuales van desde los 2 m (donde inicia la plataforma del arrecife), 10 a 20 m (la parte central o intermedia del arrecife que se observaron zonas planas) hasta los 30 m con pendientes pronunciadas y paredes del arrecife. Continúa un intervalo mayor a los 40 m de profundidad, sin embargo, en este estudio por cuestiones de seguridad no se realizaron inmersiones en la zona más profunda, porque requiere de un buceo multinivel.

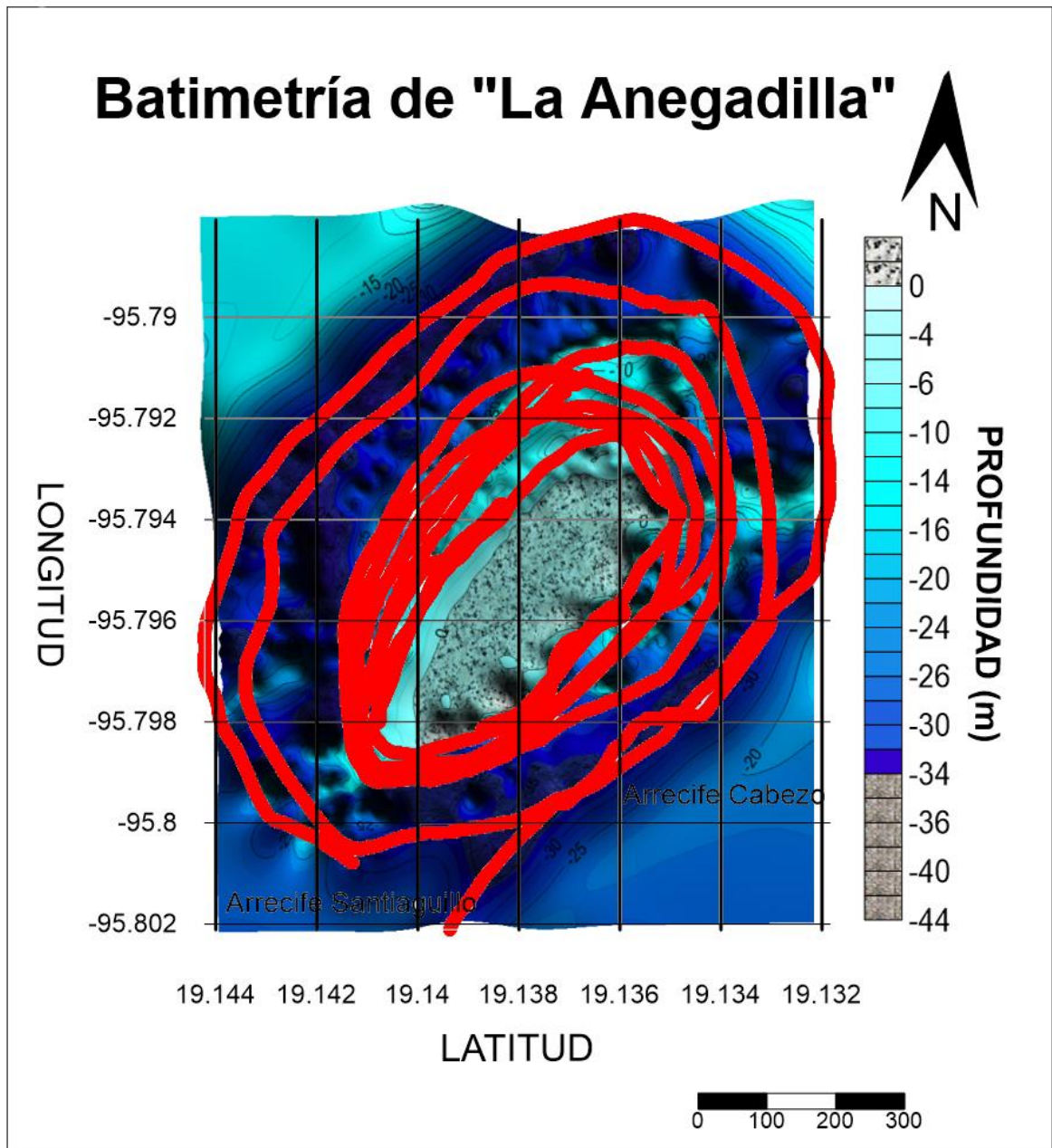


Fig. 11. Rutas realizadas al arrecife la Anegadilla, Veracruz. Con el programa Surfer V.11 se modelo el mapa del arrecife con la serie de rutas realizadas, con espacio de 5, 10 y 20 m de distancia entre cada vuelta.

Plano anterior y posterior de "La Anegadilla"

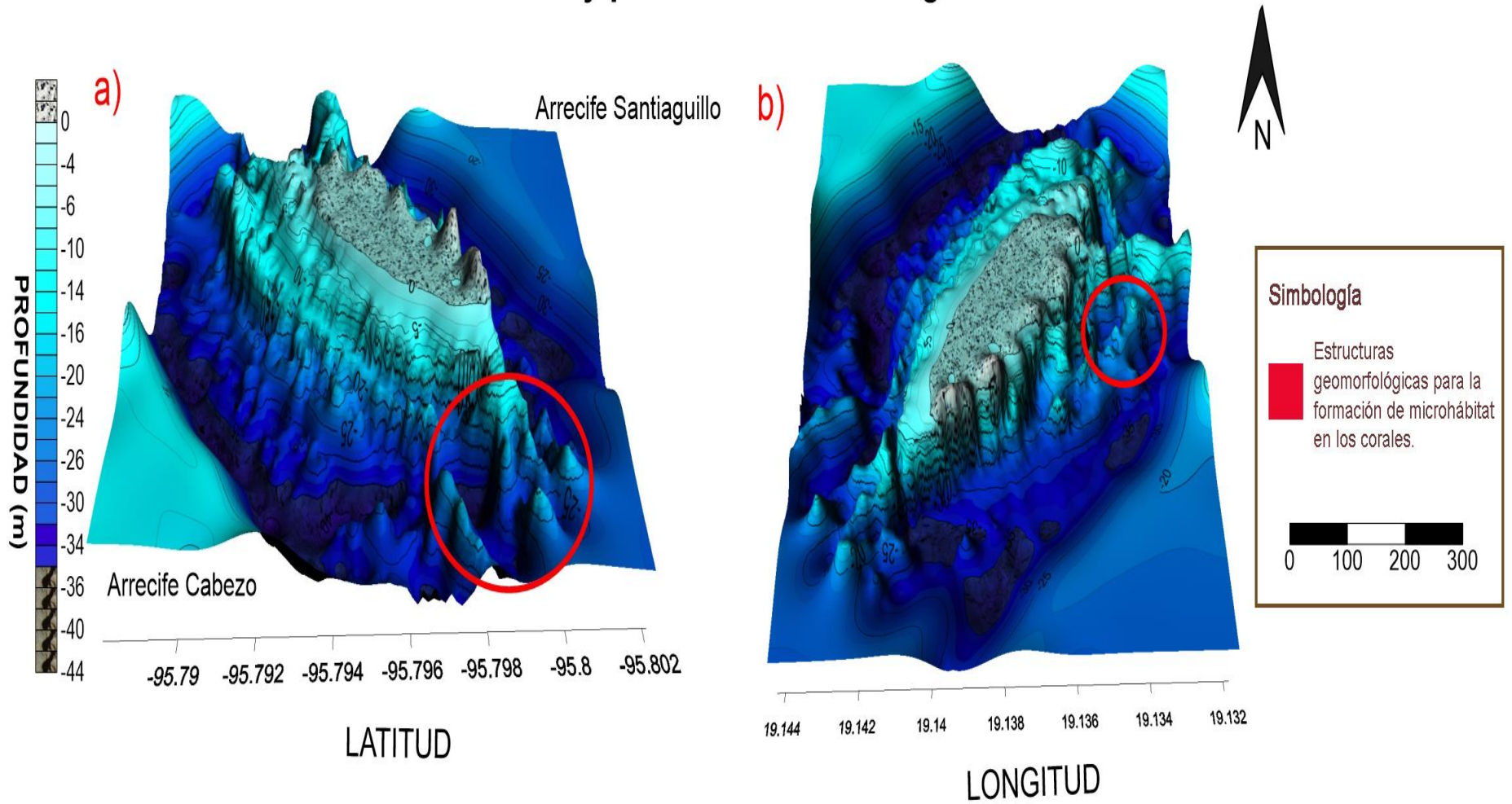


Fig. 12. Mapa batimétrico del arrecife la Anegadilla, Veracruz. En los círculos rojos aparecen las zonas estructuras complejas del arrecife, realizado en *Surfer*.

Muestra mínima

Para saber qué tan representativo es el muestro es necesario calcular el número de fototransectos requeridos para cubrir la mayor cantidad de especies en el área de estudio. Esto se realizó por medio de la frecuencia acumulada del número de especies encontradas en cada foto-transecto, tomando en cuenta que si hay especies raras la curva de acumulación se verá asintótica con un esfuerzo de muestreo mayor debido a que estas especies son difíciles de localizar. En la figura 13, se observa que en este estudio la cantidad de especies registradas fue de 13 en 10 fototransectos y que se requiere de 22 foto-transectos para que la curve llegue a un punto asintótico (donde se registre la mayor cantidad de especies coralinas en los fototransectos).

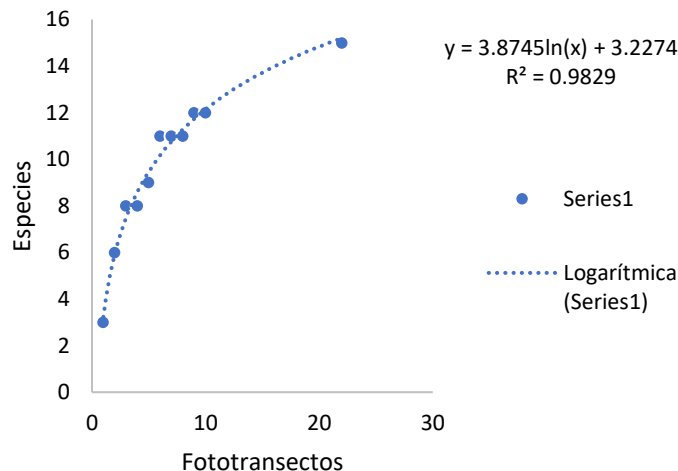


Fig. 13. Tamaño de la muestra. Foto-transectos realizados en la anegadilla, Veracruz por el método de frecuencias acumuladas

La ecuación empleada para la estimación de la muestra mínima fue la Ecuación 1 que se muestra en el capítulo 3, pág. 32. Para ello se calculó el promedio de especies encontradas por foto $\bar{X} = 4.1$ especies, la varianza del número de especies por foto de $S^2 = 2.54$, la "t" de student correspondiente al número de transectos realizados (10 fototransectos) $t = 1.8331 [t(df = 9)]$, la precisión de $p = 0.05$ y la muestra mínima correspondió a: $n(p = 0.05) = 203.0945$ cuadros. Esto se dividió

entre el promedio de cuadros utilizados por foto-transecto (9) y el resultado final obtenido fue de 22 foto-transectos. En este sentido el número de especies encontradas en los foto-transectos indica que en medida de un mayor esfuerzo de muestreo se obtendrán valores aceptables del número de especie coralinas.

Listado de especies coralinas

Para mayor facilidad de lectura de las especies coralinas se utilizarán las abreviaturas de las especies propuesta por la AGRRA (Tabla 1). Corresponde a una abreviación corta donde se deja solo la primera letra del género y las tres siguientes de la especie, por ejemplo, *Porites astreoides* se nombrará PAST.

Tabla 1 Abreviaturas de las especies coralinas y abundancia por especie de la Anegadilla, Veracruz.

Abreviaciones	Especies coralinas	Abundancia (%)
AGRA	<i>Agaricia grahamae</i>	1.12
ALAM	<i>Agaricia lamarcki</i>	0.37
CNAT	<i>Colpophylia natans</i>	7.32
PCLI	<i>Pseudodiploria clivosa</i>	0.87
PSTR	<i>Pseudodiploria strigosa</i>	0.99
MALC	<i>Millepora alcicornis</i>	1.36
MCAV	<i>Montastraea cavernosa</i>	6.20
MDEC	<i>Madracis decactis</i>	20.84
OANN	<i>Orbicella annularis</i>	12.41
OFAV	<i>Orbicella faveolata</i>	45.16
OFRA	<i>Orbicella franksi</i>	0.74
PAST	<i>Porites astreoides</i>	1.36
APAL	<i>Acropora palmata</i>	1.24

Cuantificación de especies y densidades poblacionales

La tabla 2 refleja la presencia de los corales encontrados en el arrecife de la Anegadilla. Con el propósito de representar gráficamente las variaciones en los resultados en la tabla 2, se empleó una escala de grises donde el color más claro indica menor incidencia y abundancia de la especie, mientras que un color más oscuro representa mayor abundancia e incidencia.

Tabla 2. Presencia y abundancia de especies coralinas por foto-transecto en la Anegadilla, Veracruz.

Foto-transecto	Profundidad (m)	AGRA	ALAM	CNAT	PCLI	PSTR	MALC	MCAV	MDEC	OANN	OFAV	OFRA	PAST	APAL
1	3-15		1				2		92					
2	3-15					4	3		46		2		2	8
3	3-15		1	6	2	3	2		30		4			
4	3-15		1	1			4				1			
5	2-17			4	4	1				58	9		7	9
6	2-17	9		15				8		42	54			9
7	2-17			9				42			34			
8	2-17			9	1								2	9
9	2-17			6							119	6		
10	2-17			9							141			

Se observa que la especie MDEC fue la que presentó mayor presencia al igual que OFAV, por otro lado, las especies ALAM, OFRA, PAST, PSTR y PCLI son las que tuvieron menor presencia y abundancia dentro del arrecife.

Se encontró una mayor abundancia en el foto-transecto 10 mientras que CNAT y OFAV se encuentran en 7 foto-transectos de los 10 realizados que fueron las especies mejor distribuidas en el arrecife (tabla 3), mientras que en el foto-transecto 4 y 8 se encontró la menor abundancia.

Abundancia y distribución coralina

A partir de la aparición de las especies dentro de los sitios de muestreo, se determinó la distribución (tabla 3) Para este arrecife solo se presentó 1 tipo de distribución agregada (Binomial negativa).

Tabla 3. Tipo de distribución presente para la especie OFAV, CNAT, OANN, MCAV y MEDC. Datos procesados en el programa STATGRAPHICS Centurion XVI.

Especie	P- Valor		Distribución
OFVAV	0.353166	Binomial negativa	Dado que el valor de probabilidad es mayor a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula de que estas especies presenten una distribución agregada en el arrecife la Anegadilla.
CNAT	0.584543	Poisson	Dado que el valor de probabilidad es mayor a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula de que estas especies presenten una distribución aleatoria en el arrecife la Anegadilla.

De las 13 especies en total, 11 especies no pudieron procesarse estadísticamente para determinar su tipo de distribución espacial, debido a que de los 10 foto-transectos que se obtuvieron, aparecen en menos de la mitad, por lo que carecerían de un valor estadístico.

Como resultado de los foto-transectos por medio del buceo se logró encontrar una gran cantidad de riqueza de especies como: *Acropora palmata*, *Pseudodiploria strigosa*, *Colpophyllia natans* y *Orbicella annularis*. La profundidad a la cual se realizó el foto-transecto fue de 2 m y 17 m. Las especies coralinas con mayor

abundancia registradas fueron: OFAV (45.7%), MDEC (21.1 %), OANN (12.5%), CNAT (7.3%) y MCAV (6.28 %) las demás especies como se puede ver la tabla 1 obtuvieron valores menores al 2%.

Se identificaron 13 especies coralinas que pertenecen a dos órdenes Scleractinia y Milleporina en los sitios de estudio (tabla 1), del cual *Orbicella faveolata* (OFAV) es la más abundante del arrecife con 45.7 %, *Madracis decactis* (MDEC) con 21.1 %, *Orbicella annularis* (OANN) con 12.5 %, *Colpophylia natans* (CNAT) con 7.41 %, seguida de *Montastraea cavernosa* (MCAV) con 6.28 %, *Millepora alcicornis* (MALC) con 1.3 % al igual que *Porites astreoide* (PAST) con 1.3 %, *Agaricia grahamae* (AGRA) con 1.13 %, *Pseudodiploria strigosa* (PSTR) con 1 % y los siguientes corales fueron menor al 1 % *Pseudodiploria clivosa* (PCLI) con 0.87 %, *Orbicella franksi* (OFRA) con 0.75 % y *Agaricia lamarcki* (ALAM) con 0.37 %.

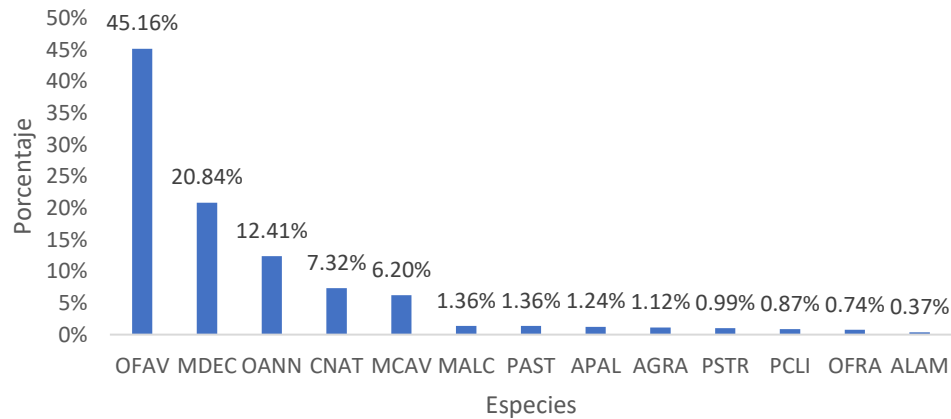


Fig. 14. Porcentaje de abundancia por especie coralina en el arrecife la Anegadilla, Veracruz.

Cobertura relativa

Se obtuvo el valor de cobertura relativa de las especies coralinas dentro de los 10 foto-transectos (Figura 15) OFRA, MALC, AGRA, PCLI Y PAST son las especies con un valor menor al 1% de cobertura. Las especies ALAM, MCAV, MDEC y OANN comprendieron entre 1% a 2% de cobertura. En las siguientes especies se obtuvo un mayor porcentaje de cobertura: CNAT 4.2% y PSTR 4.8 %. Los de mayor cobertura son OFAV con el 6.54 % y APAL con 22.1 %.

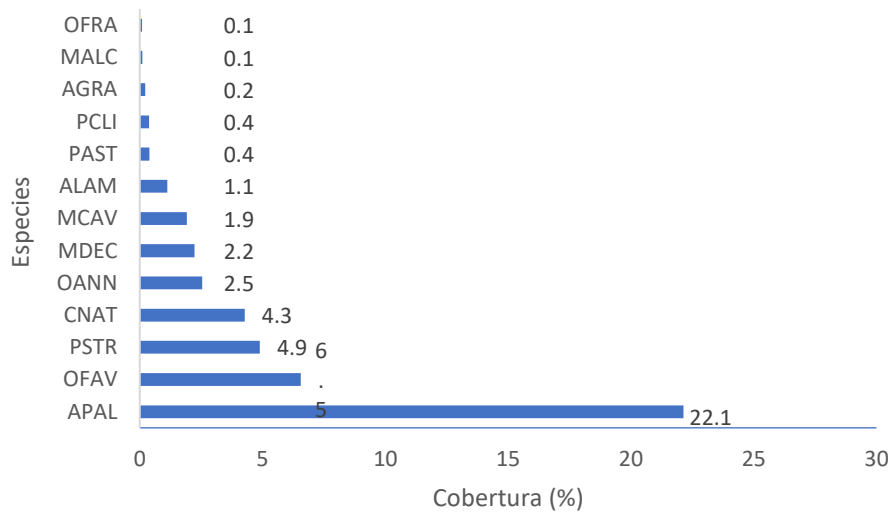


Fig. 15. Cobertura coralina en el arrecife la Anegadilla, Veracruz.

Diversidad

Se utilizo el índice de diversidad de Margalef, el índice de Shannon y el Índice de Pielou para la cuantificación de especies y densidades poblacionales en la zona de estudio del arrecife.

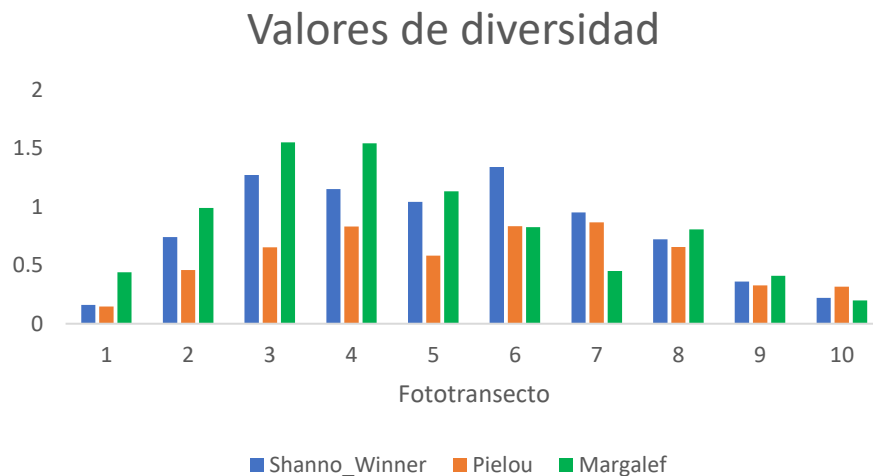


Fig. 16. Valores de índices de riqueza de Margalef, Pielou y Shannon- Winner.

Dado los valores de riqueza de Margalef, los foto-transectos realizados en este estudio se consideran como zonas de baja diversidad (figura 16). En cuanto al índice de Pielou los índices corresponden a situaciones donde existe menor equitatividad y por lo tanto mayor dominancia de las especies OFAV, CNAT, MDEC y OANN. Por

último, el índice de Shanno-Winner los valores obtenidos entre 0 y 1.5 se consideran bajos, al presentar baja diversidad de especies y diferencia en abundancia por especies.

En la figura 17 se observa la comparación de los índices de diversidad en cada sitio de muestreo. Los resultados muestran que el lugar donde se encontró mayor diversidad en este estudio fue el tercer sitio. La estructura del arrecife (figura 18) indica que en este sitio es donde se recibe la mayor fuerza del oleaje y las mareas, es posible que este fenómeno genere un menor aporte de nutrientes al sistema, menor eutrofización y por ende una mayor diversidad. En el apartado de análisis de resultados se explicará con mayor detalle el grado de perturbación del arrecife y la interpretación biológica de cada especie.

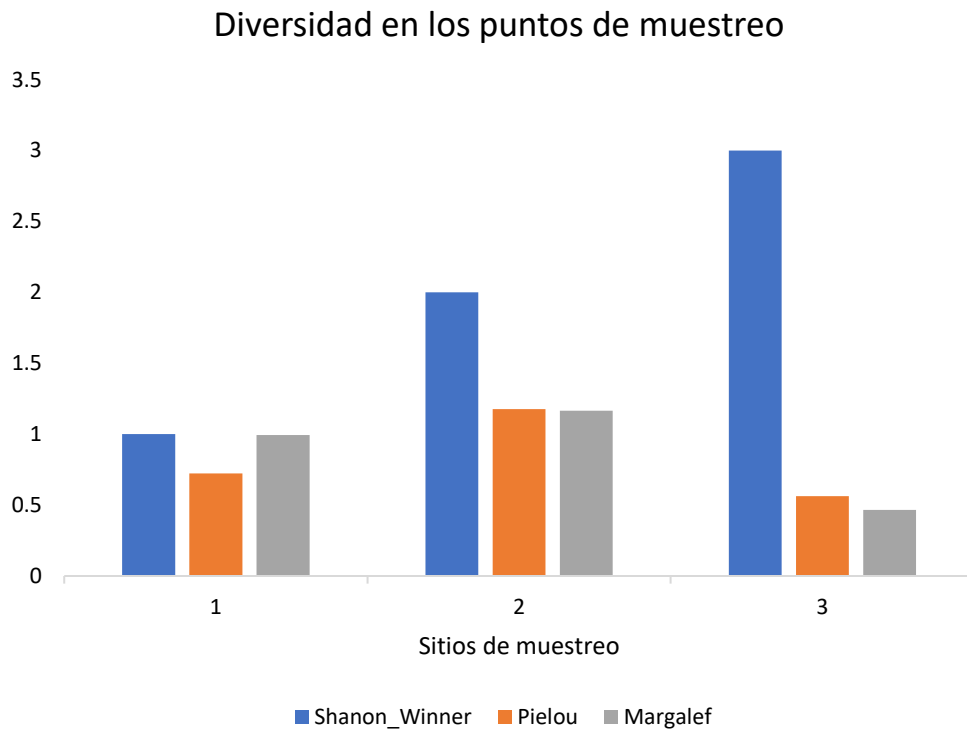


Fig. 17. Índices de diversidad en los sitios de muestreo en la Anegadilla, Veracruz.

Grado de daño

En la tabla 3, se presentan las enfermedades que afectan a las especies coralinas en el Caribe, estos registros establecen una referencia sobre las principales afectaciones a los arrecifes del PNSAV.

En el caso de la especie APAL el tipo de daño que se presentó fue el blanqueamiento (Anexo 1). Esta es una enfermedad que afecta solo a las especies de la familia *Acroporidae* como son: *Acropora palmata*, *A. cervicornis* y *A. prolifera*.

Una de las principales enfermedades que afecta a la mayoría de los corales es la banda amarilla, que se presenta en la especie OANN, pero se ha reportado casos de *Montastraea cavernosa*, *Agaricia agaricites*, *Pseudodilori spp.*, *Porites porites* y *Colpophylia natas*. Sin embargo, no se registraron los organismos con esta afectación en la zona de estudio.

Otro tipo de daño presentado en las especies APAL y CNAT fue palidez. Enfermedad que aún no se tiene certeza o información acerca de su aparición en los corales. Sin embargo, se cree que podía ser una etapa previa al blanqueamiento (Gutiérrez-Ruiz *et al.*, 2011).

Una de las especies afectada por macroalgas y cianobacterias fue APAL. Este daño por algas provoca el crecimiento de agentes patógenos que pueden llegar a matar al coral (Anexo 2). Ansell *et al.* (1998) y McCook (1999) mostraron que la competencia entre corales y macroalgas es un paso crítico durante la degradación del arrecife.

La competencia entre individuos se observó en la especie en OANN (Anexo 2). Por la cercanía entre glomérulos ya que ésta se da en las zonas más expuestas, enfermas o con mayor concentración de algas.

El daño causado a los corales por causas antropogénicas se atribuye a las irregularidades al PNSAV debido a que los centros de buceo como prestadores de servicio ofrecen distintas visitas a los arrecifes. Esto se consultó en su página web, la cual ofrece recorridos a distintos puntos de visita turística o actividades acuáticas,

los arrecifes e islas que visitan son las siguientes: Blanquilla, Anegada de adentro, Isla verde, Anegada de Afuera, Isla de en Medio, Cabezo, Tapetillo, Blancas, el Rizo, Santiaguillo y la Anegadilla. En la Anegadilla los sitios que visitan son: las zonas de picacho, la costilla y la punta de la Anegadilla, estos sitios son atractivos para las actividades subacuáticas (snorkel y buceo) por la presencia de pendientes arrecifales.

En el acuerdo D.O.F. (1994) que resume el Programa de Manejo del Área Natural Protegida para la categoría del Parque Nacional en el cual se reconoce como zona núcleo al Sistema Arrecifal Veracruzano establece en la subzona de protección que en Santiaguillo no se encuentra permitido realizar actividades turísticas. Dado lo anterior los prestadores de servicio no cumplen con las normas, por lo cual generan daño a los sistemas arrecifales aledaños como la Anegadilla.

Zonas coralinas

En la zona suroeste o frontón del arrecife se realizaron dos inmersiones (Figura 18, punto 1 y 2) que corresponden a una profundidad de 3 a 15 m y con un tipo de fondo completamente rocoso dentro de los cuales se ubicaron las siguientes especies coralinas: ALAM, MDEC, CNAT, PSTR, APAL y MALC.

En la zona de sureste del arrecife se realizó una inmersión (figura 18, punto 3) a una profundidad de 2 a 17 m con un tipo de fondo rocoso y arenoso y se localizaron las siguientes especies coralinas: PCLI, PAST, CNAT, OFRA, OANN, OFAV, MCAV

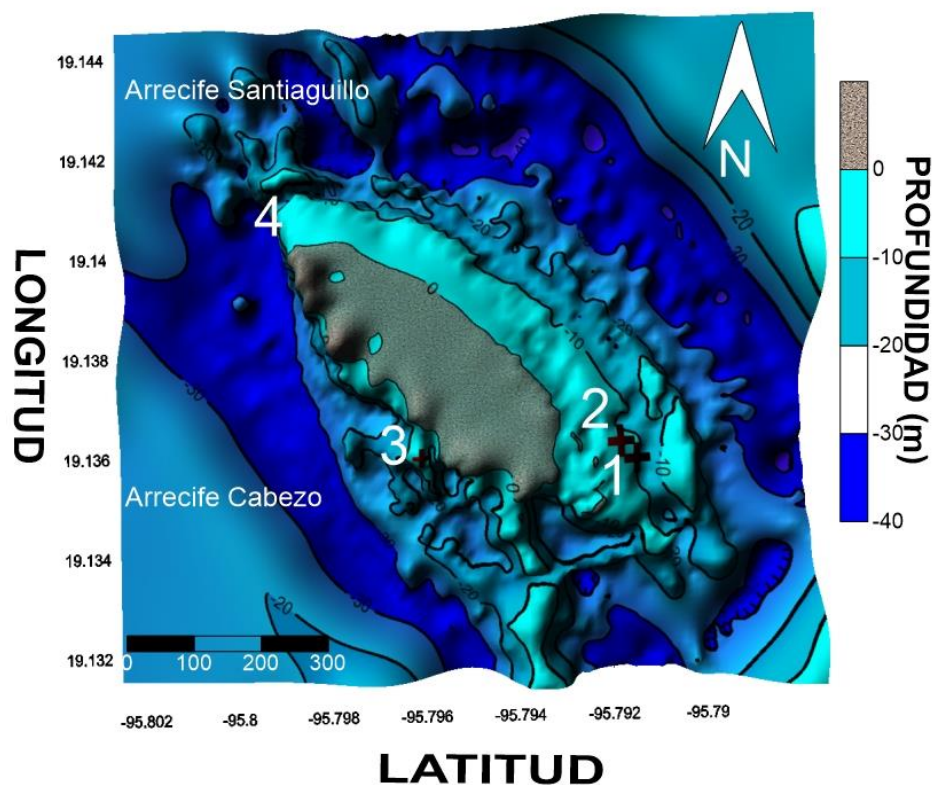


Fig. 18. Sitios de inmersión con equipo SCUBA dentro del arrecife la Anegadilla, Veracruz. Los puntos en color rojo indican las zonas coralinas.

En el laboratorio de Biología Acuática de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, se tiene evidencia fotográfica de una cuarta inmersión en la punta de la Anegadilla, no se obtuvieron las coordenadas geográficas, sin embargo, se considera una profundidad de 2 a 15 m. Dicha inmersión no fue incluida en este trabajo debido a que solo se realizó como parte de la exploración del sitio, sin realizar registro de las especies coralinas presentes.

Caracterización biológica de las especies

En la tabla 3, se enlista la distribución y cobertura de los corales encontrados de la Anegadilla, así mismo la descripción general de su estructura física del coral, la forma que regularmente adquieren, la dominancia (es decir lugares donde se ubican), categoría de vulnerabilidad de acuerdo con la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUNC) y la comparación de la distribución en otros lugares internacionales y con el mismo puerto de Veracruz.

Respecto a la información sobre la dominancia, distribución, enfermedades y amenazas fue recopilada de IUCN (2001), por otro lado la descripción y forma de los organismos se obtuvo de la guía de campo de Vargas-Hernández *et al.* (2017) .

En la tabla 3 se enlistan las especies encontradas en la zona de estudio. En dicha tabla se resalta la abundancia de OFAV, la cual es una especie que se caracteriza como la más abundante en el PNSAV. Su distribución es amplia en los sistemas arrecifales de Veracruz, no obstante, se requiere de la confirmación en otros sitios como en el Caribe, Florida y las Bahamas. En cuanto a las enfermedades que se han observado en el Golfo de México son la banda amarilla y la banda negra.

Así mismo MDEC es otra especie que toma importancia en la tabla 3, debido a que es la segunda especie más abundante dentro del arrecife, los registros de profundidad son 5 a 6 m en el norte de Veracruz y de 1 a 15 m en Sistema Arrecifal Veracruzano. Actualmente la distribución de MDEC es desde el Caribe hasta las costas de Brasil, se ha reportado la presencia de esta especie en las costas del Atlántico. Una de sus principales enfermedades observada en el Caribe es la peste blanca.

OANN, MCAV y CNAT son especies que tienen una abundancia similar dentro del arrecife. La especie OANN tiene la mayor distribución dentro del SAV y norte de Veracruz, a una profundidad de 2 a 18 m. Las especies MACV y CNAT al igual que OANN tienen amplia distribución en los arrecifes veracruzanos. Presentan tolerancia a los ambientes turbios, pero no condiciones eutróficas. Se encuentran a una profundidad de 2 a 40 m.

Una de las especies que tiene mayor relevancia para su conservación y protección es APAL ya que es una especie críticamente en peligro de extinción. En la Tabla 4 se resalta que el porcentaje de cobertura de este organismo tiene un valor mayor por encima de las demás especies coralinas. La profundidad a la que se registra dentro del arrecife es 2 m hasta 7 m, mientras que para el SAV fue de 1 a 15 m y 1 a 10 m PNSAV. Su distribución es desde el Golfo de México, Florida, las Bahamas y una extensión de Miami. Una enfermedad específica que afecta a estas especies es la banda blanca y el blanqueamiento.

La especie PAST presentó baja presencia y abundancia dentro del arrecife (tabla 3). La profundidad a la que se registró es entre los 2 y 17 m. A diferencia de la presencia en los arrecifes del puerto de Veracruz esta especie es una de la que representa mayor abundancia y distribución a profundidades registradas entre 1 a 24 m.

OFRA y ALAM son las especies que tienen la menor abundancia dentro del arrecife, estas especies se encuentran en rangos de profundidad de 5 hasta los 40 m, sin embargo, para La Anegadilla su rango de profundidad fue menor a los 15 m.

En cuanto a las demás especies coralinas su porcentaje de abundancia tiene el siguiente orden de menor a mayor $DCLI < DSTR < AGRA < PAST < MALC$ que cubren menos del 2 % de abundancia, todas estas especies son muy abundantes y comunes en otros sitios, sin embargo, en este listado, tabla 3, se observa baja abundancia debido a que faltaría investigar los demás sitios de la Anegadilla para estimar su verdadera abundancia dentro del arrecife.

Tabla 4. Lista y descripción de las especies encontradas en el arrecife la Anegadilla, Veracruz.

Especie	Descripción	Forma	Dominancia	Distribución	Profundidad (m)	Enfermedades y amenazas	Arrecife la Anegadilla		Categoría por IUNC*
							Abundancia (%)	Cobertura (%)	
AGRA	Su coloración es variable de verde a café grisáceo o gris.	Plato con cresta irregulares.	Se encuentra en los hábitats crípticos (grietas, bajo salientes, rocas).	Caribe y en los arrecifes veracruzanos. Reportes en Brasil.	5 a 15 En el NV ² 3 a 24 En el SAV ¹	Peste blanca, blanqueo y alta sedimentación.	1.3	0.22	DD
ALAM	Colonias marrones con bordes pálidos y pólipos blancos.	Bandeja, grande y delgada, que se sobreponen y pueden adquirir forma de espiral.	Se encuentra en pendientes, canales profundos e intermedios sobre lagunas.	En el Golfo de México. Florida y las Bahamas. SAV ¹	10-30 en el SAV ¹ 15-25 .	Desde el 2001 incidencia en plaga blanca y banda negra. Aumento de las tasas de mortalidad y alta sedimentación.	0.37	1.1	VU
CNAT	Coloración variable, aunque generalmente es parda amarillenta.	Esférica con un diámetro de denominado en forma de cerebro.	Común en la mayoría de los ambientes de los arrecifes.	En el Caribe. Golfo de México. Florida y las Bahamas.	0.5 a 55 en el Caribe. 0.5 a 30 en el SAV ¹	Banda negra y plaga blanca, blanqueo y la depredación por <i>Sparisoma viride</i> (Pez loro).	7.41	4.2	LC

*Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza- Lista Roja: DD =Datos deficientes, LC= Menor preocupación, NT=Cerca de amenaza, VU=Vulnerable, EN=Peligro de extinción, CR=Críticamente en peligro de extinción, EW=Extinto en la naturaleza

1= Sistema Arrecifal Veracruzano, 2=Norte de Veracruz, 3=Parque Nacional Sistema arrecifal Veracruzano y 4=Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan

Tabla 3. Lista y descripción de las especies encontradas en el arrecife la Anegadilla, Veracruz. Continuación

Especie	Descripción	Forma	Dominancia	Distribución	Profundidad (m)	Enfermedades y amenazas	Arrecife la Anegadilla		Categoría por IUNC*
							Abundancia (%)	Cobertura (%)	
PSTR	Su coloración es variable de verde a marrón, marrón amarillento, marrón púrpura o azul grisáceo.	Cerebroide con superficie cubierta de crestas y valles. Las colonias alcanzan hasta 1.8 m de diámetro.	Se encuentra en los entornos de la cresta arrecifal y puede formar soportes mono-específicos.	Se extiende en el Caribe. PNSAV ³ Los Tuxtlas. Arrecifes intermedios (Chachalacas). APFFSALT ⁴	4 a 10 en el NV ² 1 a 15 en el SAV ¹	Susceptible a los impactos localizados de blanqueo, bioerosión por esponjas, daños provocados por huracanes y alta sedimentación.	1.0	4.8	LC
MALC	Coloración café-amarillo.	Puede formar costras sobre sustrato muerto, incluso de corales blandos.	Común en zonas someras cerca de las lagunas arrecifales.	Se extiende en el Caribe. Sur oeste del Golfo de México (Tunnell, 1988)	1 a 7 NV ² 1 a 7 SAV ¹	Afectada por eventos pasados de blanqueamiento.	1.3	0.1	LC

*Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza- Lista Roja: DD =Datos deficientes, LC= Menor preocupación, NT=Cerca de amenaza, VU=Vulnerable, EN=Peligro de extinción, CR=Criticamente en peligro de extinción, EW=Extinto en la naturaleza 1= Sistema Arrecifal Veracruzano, 2=Norte de Veracruz, 3=Parque Nacional Sistema arrecifal Veracruzano y 4=Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan

Tabla 3. Lista y descripción de las especies encontradas en el arrecife la Anegadilla, Veracruz. Continuación

Especie	Descripción	Forma	Dominancia	Distribución	Profundidad (m)	Enfermedades y amenazas	Arrecife la Anegadilla		Categoría por IUNC*
							Abundancia (%)	Cobertura (%)	
MCAV	Coloración variable, las colonias pueden ser verdes, café, gris, negra con blanco o anaranjadas.	Coral masivo en forma de domo o redondeada que puede alcanzar hasta más de un diámetro.	Tolerancia a los ambientes turbios, pero no está adaptado a condiciones eutróficas.	Brasil (Echeverría <i>et al.</i> , 1997; Pires <i>et al.</i> , 1992) .	2 a 6 en el NV ²	Banda blanca y plaga blanca. Blanqueamiento. Amenaza por bioerosión principalmente esponjas y otros organismos, y daño por huracanes y alta sedimentación.	6.28	1.9	LC
				PNSAV ³	3 a 40 en el SAV ¹				
				Los Tuxtlas.	10-30 (Szmant <i>et al.</i> , 1997).				
				Arrecifes Chachalacas.	0.5 A 95 (Goreau y Wells, 1967)				
MDEC	Corales coloniales encostrados su coloración es variable verde-café, amarillo-café y gris.	Nódulos pequeños e irregulares.	Cerca de las lagunas arrecifales y la parte más alejada hacia el mar. Lagos y canales del arrecife.	Brasil (Echeverría <i>et al.</i> , 1997; Pires <i>et al.</i> , 1992)	5 a 6 NV ²	Peste blanca, blanqueo intenso y alta sedimentación.	21.1	2.2	LCC
				Florida, las Bahamas y el Golfo de México	1 a 15 SAV ¹				

*Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza- Lista Roja: DD =Datos deficientes, LC= Menor preocupación, NT=Cerca de amenaza, VU=Vulnerable, EN=Peligro de extinción, CR=Criticamente en peligro de extinción, EW=Extinto en la naturaleza
1= Sistema Arrecifal Veracruzano, 2=Norte de Veracruz, 3=Parque Nacional Sistema arrecifal Veracruzano y 4=Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan

Tabla 3. Lista y descripción de las especies encontradas en el arrecife la Anegadilla, Veracruz. Continuación

Especie	Descripción	Forma	Dominancia	Distribución	Profundidad (m)	Enfermedades y amenazas	Arrecife la Anegadilla		
							Abundancia (%)	Cobertura (%)	Categoría por IUNC*
OFAV	Usualmente su coloración es café pálido, pero se le observa en verde y café oscuro.	Colonias masivas que miden varios metros, con protuberancias en forma de cono.	Se encuentra en la parte posterior y frontal del arrecife.	En el Caribe. Golfo de México. Florida y las Bahamas. Se requiere de confirmación.	3 a 22 en el SAV ¹	Plagas, banda amarilla y banda negra. Blanqueamiento.	45.7	6.5	EN
OFRA	Su coloración es café con manchas pálidas en las áreas abultadas.	Colonias masivas con superficie irregulares y abultadas.	Coral más abundante en entornos arrecife frontal.	En el Caribe. Florida y las Bahamas. PNSAV ³ APFFSALT ⁴	5 a 30 m PNSAV ³ 25 a 40 en el SAV ¹	La peste, la banda amarilla, enfermedad de la banda negra y blanqueamiento.	0.75	0.08	VU

*Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza- Lista Roja: DD =Datos deficientes, LC= Menor preocupación, NT=Cerca de amenaza, VU=Vulnerable, EN=Peligro de extinción, CR=Críticamente en peligro de extinción, EW=Extinto en la naturaleza
1= Sistema Arrecifal Veracruzano, 2=Norte de Veracruz, 3=Parque Nacional Sistema arrecifal Veracruzano y 4=Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan

Tabla 3. Lista y descripción de las especies encontradas en el arrecife la Anegadilla, Veracruz. Continuación

Especie	Descripción	Forma	Dominancia	Distribución	Profundidad (m)	Enfermedades y amenazas	Arrecife la Anegadilla		Categoría por IUNC*
							Abundancia (%)	Cobertura (%)	
PAST	Su coloración va desde verde, café hasta amarillo pardo.	Cubierto de pequeñas protuberancias o liso no mayores a 60 cm de diámetro.	Se desarrolla en áreas someras y bien iluminadas.	Brasil (Echeverría <i>et al.</i> , 1997; Pires <i>et al.</i> , 1992). Oriente del Atlántico. Golfo de México.	>5 en el NV ² 1 a 24 en el SAV ¹	La plaga blanca, aunque esta es una de las especies menos afectadas.	1.3	0.3	LC
APAL	Su coloración es café, verde o amarillo-marrón. El color es por la combinación de los pigmentos y las zooxantelas simbióticas dentro del tejido.	Ramas grandes de hasta dos metros de longitud y un grosor de 50 m. Las ramas son cónicas, muy gruesas, paralelas, oblicuamente inclinadas y horizontalmente aplanadas.	Se encuentra en la superficie de los ecosistemas arrecifales de los trópicos, favoreciendo a las pendientes arrecifales en la zona de rompiente.	Florida y las Bahamas. Golfo de México. Una extensión de Miami (Porter, 1987).	1 a 15 en el SAV ¹ 1 a 10 PNSAV ³	Específicamente con banda blanca. Blanqueo termal inducido y por tormentas.	1.2	22.1	CR

*Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza- Lista Roja: DD =Datos deficientes, LC= Menor preocupación, NT=Cerca de amenaza, VU=Vulnerable, EN=Peligro de extinción, CR=Críticamente en peligro de extinción, EW=Extinto en la naturaleza
1= Sistema Arrecifal Veracruzano, 2=Norte de Veracruz, 3=Parque Nacional Sistema arrecifal Veracruzano y 4=Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan

Tabla 3. Lista y descripción de las especies encontradas en el arrecife la Anegadilla, Veracruz. Continuación

Especie	Descripción	Forma	Dominancia	Distribución	Profundidad (m)	Enfermedades y amenazas	Arrecife la Anegadilla		Categoría por IUNC*
							Abundancia (%)	Cobertura (%)	
OANN	Su coloración es café verdoso, café amarillo, café o grisáceo.	Colonias formadas por nódulos agrupados, los cuales pueden medir varios metros de ancho.	Habita ambientes arrecifales protegidos.	APFFSALT ⁴ PNSAV ³ Arrecifes intermedios como Chachalacas	5 a 20	La plaga blanca, aunque esta es una de las especies menos afectadas.	12.41	2.5	LC
PCLI	La coloración es amarilla a café verdosa, ésta es causada por la presencia de zooxantelas.	Colonias en forma de cerebroide con superficie nodosa, alcanzan hasta .3 m de diámetro.	Habita ambientes arrecifales de la zona noreste y sureste de los arrecifes.	APFFSALT ⁴ PNSAV ³ Los Tuxtlas	0.5 a 15	Específicamente con banda blanca. Blanqueo termal inducido y por tormentas.	0.87	0.4	LC

*Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza- Lista Roja: DD =Datos deficientes, LC= Menor preocupación, NT=Cerca de amenaza, VU=Vulnerable, EN=Peligro de extinción, CR=Críticamente en peligro de extinción, EW=Extinto en la naturaleza
1= Sistema Arrecifal Veracruzano, 2=Norte de Veracruz, 3=Parque Nacional Sistema arrecifal Veracruzano y 4=Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Batimetría del arrecife de la Anegadilla.

El mapa batimétrico presentado en este trabajo se obtuvo a partir del número total de puntos entre cada trayectoria que se puede visualizar en 3D (figura 12 y 18). Este arrecife se puede ubicar dentro de los arrecifes de tipo borde de la plataforma y está sumergida a una profundidad de 2 metros, motivo por el cual no se puede realizar ecosondeo en la zona central interna para evitar daño al arrecife con la embarcación. Sin embargo, el nivel de detalle es aproximado a 10 metros entre cada trayectoria. En el apartado de resultados se mencionó que se requiere de un mayor esfuerzo de trayectorias para lograr abarcar mayor área del arrecife.

La aportación del mapa batimétrico de la Anegadilla radica en la información que no se puede obtener con herramientas tecnológicas como son Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Percepción Remota (PR) debido a que la escala es muy grande (1: 100 000). Aguilera (2012) en su estudio de caracterización estructural y dinámica del paisaje con el uso de SIG y PR realizó mapas en el Sistema Arrecifal Veracruzano sin embargo no incluye arrecifes como Blanca, Rizo, Santiaguillo y Anegadilla en sus mapas temáticos, debido a que la profundidad dificulta los tipos de hábitats con precisión aceptable (1:1 000).

Respecto a la ubicación de las zonas coralinas se encontró que las especies APAL, DSTR, DCLI, CNAT y OANN tienen un gradiente de profundidad en forma decreciente, es decir que de acuerdo con la profundidad registrada las especies tuvieron una mayor abundancia en la parte superior de la cresta arrecifal y no en las partes más profundas (figura 12), sin embargo, este fenómeno no siempre ocurre (Huston, 1985). La presencia de las especies coralinas en la zona se puede explicar por el hecho de que la erosión de las corrientes marinas permite tener este gradiente de profundidad el cual es aprovechado por especies que tengan un crecimiento en mayor área tal es el caso de APAL.

En la zona sureste el perfil del arrecife es completamente distinta debido a que presenta paredes perpendiculares, por ello las especies coralinas en este sitio se

incrustan al sustrato rocoso de la pared del arrecife, tal es el caso de MCAV, OFAV y OFRA. Lo anterior provoca que los organismos se encuentren expuestos a las corrientes marinas y a una gran cantidad de turbidez que inhibe su crecimiento, sin embargo, se ha registrado que algunas especies como *M. cavernosa* (MACV) son resistentes a la sedimentación Horta-Puga y Carriquiry (2008), por ello se puede explicar su presencia en esta zona del arrecife.

Las corrientes marinas y la sedimentación son factores que se asocian a la bioerosión (Colín-García *et al.*, 2016) en los arrecifes. Estos factores no se lograron investigar por las siguientes causas: a) La información del Servicio Mareográfico Nacional y la Estación Mareográfica de Antón Lizardo, Ver., proporcionan lecturas cerca a la costa del puerto de Veracruz y no de Antón Lizardo. b) Solo se observan datos anuales de marea que no permiten visualizar a detalle en cada salida a campo y c) La solicitud de datos en determinadas fechas no se proporciona correctamente por dichas instituciones.

Comparación de mapas

En el trabajo de Ortiz (2014) se muestra un mapa con características batimétricas semejantes, pero del arrecife de Santiaguillo que es el más cercano al de la Anegadilla; este es el primer mapa de los 23 sistemas coralinos que presenta estudio de zonación ecológica con una escala de acuerdo a los fenómenos a estudiar (diversidad, abundancia, distribución de especies coralinas).

Al comparar geomorfológicamente el mapa de Santiaguillo *versus* la Anegadilla, se observa que Santiaguillo es un arrecife de plataforma, por el hecho de que se desarrolla como domos o bancos ovalados que se levanta aisladamente sobre la plataforma continental, en cambio, la Anegadilla es un arrecife bordeante en forma de parche por ser alargado y estrecho (figura 19).

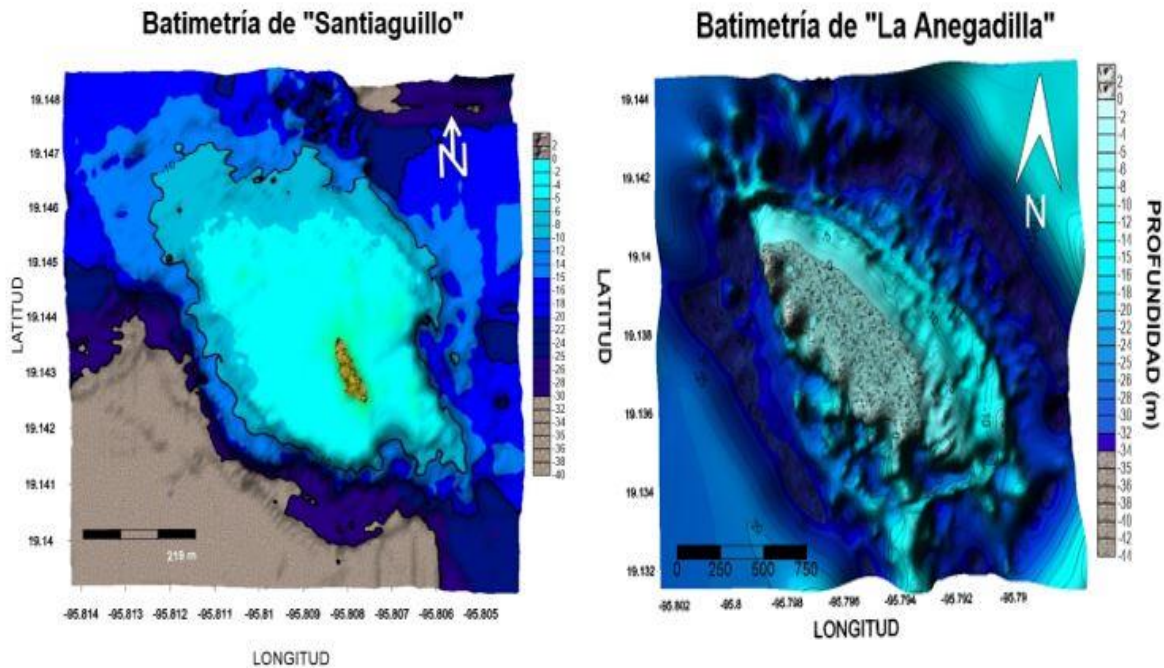


Fig. 19. Comparación de la geomorfología del arrecife Santiagoillo y la Anegadilla, ambos mapas son de Veracruz. Mapas batimétricos modelados con SURFER 11 tomado de .

En cuanto a su posición espacial se contempla a la Anegadilla como el último de la zona sur dentro del Parque Nacional del Sistema Arrecifal Veracruzano, a una distancia de 1 km del arrecife de Santiagoillo y a 20 km de la costa de Antón Lizardo. Mayorga-Martínez *et al.* (2017) realizaron sondeos en los dos arrecifes anteriores empleando un sonar monohaz y multihaz para estimar la batimetría a escala gruesa y fina, de los cuales se obtuvieron como resultados modelos batimétricos para analizar parámetros como pendiente, orientación, curvatura, rugosidad y aspereza. Sin embargo, para la Anegadilla aún no se reporta información ecológica, biológica, económica y geológica.

Caracterización biológica de las especies

De acuerdo con la tabla 3, la especie más abundante fue OFAV, los registros de profundidad son 3 a 22 m para el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV), mientras que la Anegadilla fue de 2-17 m. OFAV es una de las especies que presenta mayor tamaño (1 a 4 metros), el tipo de sustrato al que se adhiere es rocoso. Es un coral longevo y generalista por lo que se desarrolla de manera amplia en ambientes con

turbidez, fuerza de corrientes y poca incidencia de luz. Lo anterior se muestra en la tabla 3 debido a que tuvo la mayor presencia a lo largo de los foto-transectos analizados.

La abundancia de la especie MDEC tiene un valor 20.84 % (figura 14) valor que se puede considerar relativamente bajo ya que no se encuentra en todos los foto-transectos (tabla 2), debido a que al crecer se agrupa en nódulos que tienden a ser grandes. En el arrecife de la Anegadilla para esta especie se registró una profundidad de 3 a 15 m, mientras que en el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) de 1 a 15 m y para el Norte de Veracruz (NV) de 5 a 6 m.

En el caso de APAL de acuerdo con la figura 15, es la especie que tiene una cobertura del 22.1 %, esto se puede considerar como una cobertura alta ya que al encontrarse en la parte superficial del arrecife y un estadio juvenil su crecimiento tiende a extender sus estructuras abarcando un mayor espacio. Al respecto, Padilla y Lara (1996) , mencionan que la extensión de las ramas coralinas hacia arriba y a los lados, les permite crecer por encima de la superficie de otras colonias, este incremento se refleja en la superficie, tanto para la captación de luz (para calcificación y actividad fotosintética de las zooxantelas), como para la alimentación heterotrófica.

La especie AGRA tiene una cobertura del 0.2 %, esto se puede considerar como una cobertura baja. A mayor profundidad de su ubicación, desarrollan formas más discoidales, con la finalidad de captar más luz para sus algas simbiotas. Se encuentra en pendientes, canales profundos e intermedios sobre lagunas del atolón. Se ubica en una categoría “vulnerable” (tabla 3). Se distribuye en el Sistema Arrecifal Veracruzano entre profundidades que van de 10 a 30 m. Reed (1985) menciona que el rango de profundidad es desde 10-76 m, pero más común a partir de 15-25 m de profundidad (Green y Bruckner, 2000) y profundidades menores 10-15 m en aguas muy turbias.

El género *Millepora* se encuentra generalmente en zonas costeras caracterizadas por la turbidez, y exhiben una tolerancia para la sedimentación. En cuanto a la especie MALC tiene una cobertura de 0.1 % que se considera una cobertura baja al igual que AGRA porque es una especie cuya estructura es frágil a las corrientes marinas, al morir su esqueleto contribuye a la generación de nuevos arrecifes al formar costras sobre sustrato muerto. Se le considera como un hidrocoral o falso coral duro. Se caracteriza por causar quemaduras al contacto con la piel. En el arrecife de la Anegadilla se encontró de 3 a 15 m de profundidad.

Las cabezas de corales masivos (como OANN) son especies típicamente dominantes en zonas profundas de la ladera arrecifal a noroeste, mientras que en áreas de mayor profundidad se desarrollan corales aplanados o en placas.

Muestra mínima

En este estudio se realizó un total de 10 foto-transectos, de acuerdo con el criterio de la muestra mínima (figura 13), se requieren de 22 foto-transectos para llegar al punto asintótico, por ello se sugiere aumentar el número de inmersiones (como mínimo 3) para que el muestreo sea representativo de la zona de estudio, ya que al hacer el cálculo con la ecuación 1 para la muestra mínima, se obtuvo en un total de 22 fototransectos.

Abundancia coralina

De acuerdo con la figura 14, la especie OFAV es la que tiene 45.16 % de abundancia, valor que se considera alto, ya que al analizar los foto-transectos había un mayor número de esta especie especialmente entre los 3 a 15 m de profundidad en la región de sureste del arrecife. Regularmente se encuentra en la parte posterior y frontal del arrecife. La mayor parte de las colonias se encuentran en estado adulto a pesar del grado de turbidez.

Las especies CNAT, OANN, MCAV y MDEC presentaron una moderada abundancia (7.32 %, 12.41 %, 6.2 % y 20.84 %) en la zona de suroeste (a excepción de MCAV que se encuentra en la zona de noroeste), a una profundidad de 3 a 10 m.

La especie CNAT es una especie común en la mayoría de los ambientes de los arrecifes, pero de baja abundancia, como se reporta en este trabajo. Regularmente en el Caribe se encuentra en la parte frontal del arrecife de 0.5-55 m de profundidad y para el Sistema Arrecifal Veracruzano su mayor abundancia esta entre 0.5 a 30 m en zonas de sureste y noreste.

Las especies OFRA y PAST presentaron una abundancia de 0.74 % y 1.36% que se considera baja (figura 14). Caso semejante en las especies MALC, AGRA, PSTR, PCLI y ALAM que en los conteos no llegaron a 10 organismos. Se encontraron a una profundidad de 2 a 17 m. La mayor parte de estas especies pueden ser abundantes a excepción de MALC que es una de las especies que le da estructura al arrecife (Anexo 1).

Porter (1987) menciona que las especies APAL, ACER, OANN y MCAV son formadoras o constructoras de arrecifes, porque pueden establecer colonias verticales o en sustratos sobre fondos arenosos con pendiente, así forman parte del desarrollo de la propagación de parches arrecifales; por ello la importancia de estas especies en el arrecife.

En la figura 14, la especie AGRA presenta una abundancia 1.12 % la cual se considera baja. Esta especie se confunde algunas veces con otras especies de la familia Agariciidae, por lo que es posible que su baja abundancia se deba a esta razón. Se encuentra distribuida en los arrecifes veracruzanos y en el Caribe.

Cobertura relativa

Con respecto a esta variable la especie con mayor cobertura relativa fue APAL con un valor de 22.1 % (figura 15) es un organismo que comúnmente ocupa zonas cercanas a la cresta arrecifal, a partir del nivel del mar hasta una profundidad de 5 m, en este estudio se observó que se extiende una franja de coral de APAL (actualmente con daños en su mayor parte). De acuerdo con Gladfelter *et al.* (1978) la temperatura y la posición en el arrecife son importantes en la determinación de

los rangos de crecimiento en APAL. En los foto-transectos se observó que la mayor parte de las APAL se presentaron en estado juvenil.

La pendiente del arrecife aumenta de manera importante por detrás de la zona de APAL, alcanzando ocasionalmente el fondo en forma de paredes verticales o salientes (Tunell 1988). A profundidades medias dominan corales rocoso-masivos o incrustantes, como PSTR, MCAV (complejo de especies) y PAST, que en Veracruz alcanzan los 17 metros (Tunell 1988).

La especie que presentó cobertura moderada fue OFAV (6.54%) (figura 15), se le conoce como “coral estrella montañoso” denominado así porque presenta estructuras rígidas y fuertes, se localiza en zonas con mayor profundidad y pendientes con inclinación de 45 grados, es importante a nivel ecológico debido a que sus estructuras disminuyen la intensidad con la que las corrientes marinas golpean al arrecife.

Distribución

En el caso de las especies OFAV presenta una distribución de tipo agregada, probablemente esto les permite tener un mecanismo contra la depredación o para atrapar su alimento como el plancton. De acuerdo a su distribución agrega que presentan la especie anterior el hábitat no es uniforme y por ende una zona compleja en el arrecife. En cuanto la especie CNAT presentó una distribución aleatoria este patrón describe que cada individuo tiene la probabilidad de ocurrir en cualquier área del arrecife, y su presencia es independiente en la ubicación de cualquier otro organismo.

En la bibliografía se reporta que la especie PSTR es muy extendida en el Caribe. En este estudio, aunque su abundancia no es tan alta y no se distribuye en el arrecife de la Anegadilla de manera uniforme, es probable que sea más resistente a la pérdida de hábitat y degradación de los arrecifes debido a un tamaño efectivo de la población grande asumido que es altamente conectado y/o estable con variabilidad genética mejorada. Esta especie también es susceptible a los impactos

localizados de blanqueo, bioerosión por esponjas, otros organismos, daños provocados por huracanes y alta sedimentación.

Tabla 5. Características generales como sitio de buceo dentro de las unidades de manejo ambiental del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Tomado de Reyna González,(2014)

Arrecife	Sitio	Coordenadas	Tipo de buceo	Distribución biológica	Diversidad Biológica	Tipo de fondo	Profundidad Promedio (m)
La Anegadilla	La costilla	19°08'10'' 95°47'46''	Embarcación entrada-salida	Pendiente	Muy abundante	Arena	12
	Punta anegada	19°08'29'' 95°47'52''	Embarcación entrada-salida	Pendiente	Muy abundante	Arena	12
	Paso del Sábalo	19°08'19'' 95°47'35''	Embarcación entrada-salida	Pendiente	Abundante	Arena Coral	12
	Picacho	19°08'04'' 95°47'28''	Embarcación entrada-salida	Pendiente	Muy abundante	Arena	12

En la tabla 4 se describen las características generales del arrecife la Anegadilla reportadas por Reyna (2014) donde se dejó pendiente la distribución del arrecife. Los sitios que menciona de acuerdo con su posición geográfica son los siguientes: la Costilla (de la Anegadilla), Punta Anegada, Paso del Sábalo y la zona de Picacho. La mayoría de estos sitios presentaron un tipo de fondo arenoso (tabla 4). La profundidad que registró fue de 12 m la cual discrepa de este estudio debido a que el registro de profundidad máxima fue de 43 m.

En la figura 18 se presentan los puntos de muestreo, donde el sitio 3 (19.13637° latitud norte, -95.792061° longitud oeste) presenta la mayor diversidad, debió a que no presenta tanta erosión como la zona norte del arrecife y tiene zonas con pendientes; lo cual puede ser un factor que explique porque hay mayor diversidad en este sitio. En cuanto a la distribución de las especies que se encuentran en el

sitio 3 son ALAM, CNAT, PCLI, PSTR, MALC, MDEC, OFAV y PAST el tipo de fondo es rocoso y con profundidades de 40 m. El cual concuerda con este estudio por el tipo de fondo (Laclette y Carvajal, 2006) .

Diversidad

De acuerdo con la tabla 4 se presentó que la diversidad biológica en el arrecife la Anegadilla es muy abundante, pero no proporciona ningún valor cuantitativo. En el caso de la tabla 5, se observa que el índice de diversidad es baja, pero hay que considerar que es complicado hacer la comparación, ya que varía la abundancia relativa o la riqueza de especies (Washington, 1984). Dado el valor del índice Shannon-Wiener solo se podría considera como un ambiente perturbado.

Tabla 6. Índices de Shannon-Wiener y Margalef. Comparación del arrecife Santiaguillo vs Anegadilla, ambos arrecifes en Veracruz, tomado de (Pérez-España y Vargas-Hernández, 2008).

Sitio	Shannon-Wiener Parte somera	Margalef Parte somera
*Santiaguillo	1.518	1.750
**Santiaguillo	1.476	1.094
Anegadilla	0.795	0.8341

*Santiaguillo: Datos encontrados por García (2013).

**Santiaguillo: Datos encontrados por (Pérez-España y Vargas-Hernández, 2008)

En la importancia de la zona de estudio se menciona que no existe evidencia sobre listados de diversidad de fauna marina en la Anegadilla tan solo SEMARNAT y CONANP (2017) en su plan de manejo del Sistema Arrecifal Veracruzano solo hacen referencia de la superficie de los arrecifes, donde la Anegadilla cubre un total de 100.44 ha. Sin embargo, no hay cuantificación de la abundancia, diversidad y distribución coralina en este sitio.

Por mencionar otro ejemplo CONABIO *et al.* (2007) en su apartado de análisis preliminar de la biodiversidad mencionan que existen 421 cuerpos insulares de los cuales corresponden a 31 arrecifes. Los datos generales de los cuerpos insulares

apuntan que la Anegadilla tienen un área de 16.47 57 ha y el número de especies registradas en su base de datos no cuenta con algún tipo de registro.

Grado de daño

En el arrecife la Anegadilla presenta 5 especies coralinas que se encuentran dentro de la IUNC *Red List* (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza-Lista Roja) con criterios de amenaza específica para cada especie (tabla 3). Entre estas las más destacadas son: ALAM y OFRA, su situación es vulnerable tras determinarse que presenta una alta probabilidad de convertirse en "especie en peligro de extinción". Las de mayor preocupación son las siguientes debido a que se encuentran en estado de peligro de extinción: OANN y OFAV debido a las mareas rojas (crecimiento excesivo de microalgas) de efecto nocivo en los organismos y los impactos antropogénicos (actividades subacuáticas, recorridos turísticos para hacer snorkel y buceo, pesca, entre otras actividades). En el caso de la especie AGRA no se cuenta con registros de la presencia de esta especie. Por lo anterior se podría actualizar y ampliar la protección de especies coralinas debido a que los únicos corales que se encuentran sujetos a protección por la NOM-059-SEMARNAT (2010) son la especie APAL o "cuerno de alce" y ACER o "cuerno de ciervo" dentro del SAV.

Los prestadores de servicios requieren de un conocimiento previo y de una serie de atributos biológicos (diversidad y abundancia de organismos, porcentaje de cobertura coralina, tipo de fondo, etc.) y otros físicos como profundidad, corrientes y visibilidad, los cuales se consideran como criterios determinantes para el desempeño de actividades Acuáticas.

Si bien este estudio dio la pauta en temas físicos (mapa batimétrico) y biológicos (distribución y abundancia coralina) se requiere de más investigación para el manejo y protección; no solo de arrecifes como Santiaguillo (zona núcleo), sino también otros arrecifes que poseen un interés económico, social, cultural y científico como es el caso del arrecife la Anegadilla, para que se incluyan dentro de las normas, decretos oficiales y leyes de protección al medio ambiente.

CONCLUSIONES

La Anegadilla es un arrecife de parche bordeante que presenta una geomorfología compleja ya que en la zona sur cuenta con paredes con ángulos de 90°; Esto imposibilita el acceso a esta área debido a que se requiere de buceo multinivel, es decir, buzos experimentados en los cambios abruptos de presión.

En contraste, la zona norte cuenta con un gradiente de profundidad bien definido y de fácil acceso, que va de los 2 a los 43 metros con pendientes de 45°. Por ello, la zona norte se definió como el área ideal para la realización de futuras inmersiones.

El contar con mapas en estudio ecológico, es muy importante puesto que pueden conocerse límites, zonas coralinas, geomorfología entre otros aspectos importantes del arrecife la Anegadilla. La aplicación de este tipo de herramientas se puede utilizar para la toma de decisiones del manejo del ecosistema.

La especie *Colpophyllia natans* (CNAT) dentro del PNSAV es una especie muy abundante, sin embargo, en este estudio presento una moderada abundancia, se encuentra en los tres sitios de muestreo en una profundidad de 2 a 17 m.

Le sigue en importancia *Orbicella Faveolata* (OFAV) que fue la segunda especie con mayor cobertura y a su vez fue la especie más abundante y tiene una alta importancia ecológica debido a su papel como formadora de arrecife y a su resistencia a ambientes turbios, con poca luz y con corrientes marinas de alta energía.

La zona uno y dos (19.13612° latitud norte, -95.795943° longitud oeste) son puntos muy cercanos, presentan una pendiente de inclinación de 45° a una profundidad de 2 metros en adelante. Esta región norte del arrecife presenta especies como: *Madracis decactis* (MDEC), *Orbicella falveolata* (OFAV), *Colpophyllia natans* (CNAT) y *Acropora palmata* (APAL) siendo las especies que aportan gran parte del porcentaje de cobertura coralina para esta zona de pendiente.

La zona tres (19.13637° latitud norte, -95.792061° longitud oeste) posee mayor diversidad y abundancia de especies como: *Colpophyllia natans* (CNAT),

Pseudodiploria strigosa (PSTR), *Montastraea cavernosa* (MCAV) y *Orbicella faveolata* (OFAV). Son especies que físicamente presentan una forma masiva de coral.

Los datos de distribución y abundancia coralina presentes en este trabajo son el punto de partida en el estudio ecológico sobre las especies coralinas que se encuentran presentes en el arrecife la Anegadilla.

El arrecife tiene baja diversidad, baja heterogeneidad en el hábitat y muestra dominancia de las especies *Orbicella faveolata* (OFAV) y MDEC. Esto coincide con lo reportado en los arrecifes pequeños.

Los valores de diversidad no son parecidos en el arrecife ya que a pesar de que no se encontraron muchas especies (máximo de 13) la presencia de esta osciló entre 2 y 4 especies. Es importante mencionar que hay una gran variación entre abundancia de especies ya que estas no son favorecidas equitativamente dentro del arrecife. Dado lo anterior puede ser posible la baja diversidad en este arrecife.

Las únicas especies afectadas con daño en la Anegadilla son *Acropora palmata* (APAL) y *Orbicella annularis* (OANN). La primera se encontraron indicios de afectación por algas, blanqueamiento y depredación por otros organismos. En cambio, en OANN el único tipo de daño competencia entre especie.

El daño antropogénico es principalmente por la repercusión debido a que se involucra la parte de manejo del arrecife dentro del PNSAV, en el cual se permiten prácticas y la realización de actividades acuáticas sin la supervisión de prestadores de servicio certificadas por parte del parque.

La descripción de lo anterior son un inicio para estudios que tengan como objetivo el monitoreo y conservación que puedan contribuir a mantener este arrecife dentro del PNSAV en equilibrio que no afecte a este ecosistema marino.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar recorridos al arrecife con una distancia de 150 m hacia la parte más externa del arrecife ya que los contornos del mapa batimétrico de la Anegadilla pueden proporcionar una interpretación errónea debido a que no existe un recorrido previo por la zona.

Aún se desconoce toda la diversidad y distribución de especies en el arrecife debido a que se requieren más foto-transectos para encontrar la mayor cantidad de especies, cobertura coralina, rangos de crecimiento, entre otros. Lo más recomendable es realizar foto-transectos con inmersiones multinivel o bien con el uso de submarinos controlados vía remota (ROV).

La implementación de un programa de monitoreo continuo a mediano y largo plazo en este arrecife puede servir como pauta para saber las relaciones entre las especies coralinas, la tasa de crecimiento, reclutamiento, reproducción y conectividad con otros arrecifes.

Los daños provocados a los arrecifes de coral siguen siendo un tema relevante en la conservación de los recursos marinos, los daños aquí observados involucran la parte de manejo del arrecife, por ello es necesario realizar investigaciones que brinden información de los recursos para la toma de decisiones de parte de las autoridades correspondientes.

Este estudio revela la importancia del arrecife la Anegadilla, así mismo se puede utilizar esta información para difusión científica a través de trípticos, guías de campo, carteles, manuales que llegue a consultarse para la docencia y el aprendizaje con niños y adultos de una manera más amigable.

REFERENCIAS

- Aburto, L. M. A. (2009). *Taxocenosis de Octocorales del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano*. (Maestro en Ecología y Pesquerías), Universidad Veracruzana, Boca del río, Veracruz.
- Aguilera, J. (2012). Caracterización estructural y dinámica del paisaje en lagunas arrecifales: estudio de caso Sistema Arrecifal Veracruzano.
- AIMS. (2011). Reef monitoring sampling methods. Retrieved from <http://www.aims.gov.au/docs/research/monitoring/reef/sampling-methods.html>
- Alvarez-Filip, L., Reyes-Bonilla, H., y Calderon-Aguilera, L. E. (2006). Community structure of fishes in Cabo Pulmo reef, Gulf of California. *Marine Ecology*, 27(3), 253-262.
- Ansell, A., Gibson, R., Barnes, M., y Press, U. (1998). Coral/seaweed competition and the control of reef community structure within and between latitudes. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 36, 65-96.
- Arias-González, J. E., Acosta-González, G., Membrillo, N., Garza-Pérez, J. R., y Castro-Pérez, J. M. (2012). Predicting spatially explicit coral reef fish abundance, richness and Shannon–Weaver index from habitat characteristics. *Biodiversity and Conservation*, 21(1), 115-130.
- Arredondo-Figueroa, J. L., Borrego-Enríquez, L., Castillo-Domínguez, R., y Valladolid-Laredo, M. (1983). Batimetría y morfometría de los lagos “maars” de la cuenca de Oriental, Puebla, México. *Biotica*, 8(1), 37-47.
- Bacheler, N. M., Gerald, N. R., Burton, M. L., Muñoz, R. C., y Kellison, G. T. (2017). Comparing relative abundance, lengths, and habitat of temperate reef fishes using simultaneous underwater visual census, video, and trap sampling. *Marine Ecology Progress Series*, 574, 141-155.
- Bellwood, D. R., y Hughes, T. P. (2001). Regional-scale assembly rules and biodiversity of coral reefs. *Science*, 292(5521), 1532-1535.
- Brock, R. E. (1982). A critique of the visual census method for assessing coral reef fish populations. *Bulletin of Marine Science*, 32(1), 269-276.
- Brown, B. E. (1997). Disturbances to reefs in recent times. *Life and death of coral reefs*, 354-379.
- Buddemeier, R., Hulm, P., Pernetta, J., y Wilkinson, C. (1993). Reefs at risk: A programme of action. *IUCN: Gland (Switzerland)*.
- CARICOMP. (2001). CARICOMP Methods Manual, Levels 1 and 2: Manual of methods for mapping and monitoring of physical and biological parameters in the coastal zone of the Caribbean: CARICOMP Data Management Center, University of West Indies.
- Carricart-Ganivet, J. P. (1993). Blanqueamiento parcial en *Porites porites* (Cnidaria: Scleractinia) en el Arrecife de Isla Verde, Veracruz, México. *Revista de biología tropical*, 41(3 A), 495-498.
- Cleary, D. F., Becking, L. E., de Voogd, N. J., Renema, W., de Beer, M., van Soest, R. W., y Hoeksema, B. W. (2005). Variation in the diversity and composition of benthic taxa as a function of distance offshore, depth and exposure in the Spermonde Archipelago, Indonesia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 65(3), 557-570.
- Cleveland, P., y Hickman, J. (2009). *Principios integrales de zoología*.

- Colín-García, N. A., Campos, J. E., Tello-Musi, J. L., y Arias-González, J. E. (2016). Influencia de los sedimentos y trazas de tungsteno en la estructura del esqueleto de *Pseudodiploria* un coral escleractinio constructor de arrecifes del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, México. *Revista de biología tropical*, 64(3).
- CONABIO, CONANP, TNC, y PRONATURA. (2007). Análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad marina de México: océanos, costas e islas. *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, The Nature Conservancy-Programa México, Pronatura, AC México, Distrito Federal, México.*
- Chávez, E., Tunnell, J., y Withers, K. (2007). Reef zonation and ecology: Veracruz shelf and Campeche Bank. *Coral Reefs of the Southern Gulf of Mexico*, W. Tunnel, EA Chávez and K. Withers (eds.). Texas University Press, Huston, 41-67.
- D.O.F. (1994). *Diario Oficial de la Federación* (Fracción XXV). México, D.F.
- Darwin, C. (1842). *La estructura y distribución de los arrecifes de coral*: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Dierssen, H. M., y Theberge Jr, A. E. (2014). Bathymetry: History of seafloor mapping. *Encyclopedia of Ocean Sciences*.
- Echeverría, C., Pires, D., Medeiros, M., y Castro, C. (1997). *Cnidarians of the Atol das rocas, Brazil*. Paper presented at the Proc. 8th Int. Coral Reef Symp., Panama.
- Edwards, G. S. (1969). *Distribution of shelf sediments, offshore from Anton Lizardo and the Port of Veracruz, Veracruz, Mexico*. Texas A&M University.
- Emery, K. (1963). Coral reefs off Veracruz, México. *Geofísica internacional*, 3, 11-17.
- Flos, J. (2005). El concepto de información en la ecología margalefiana. *Revista Ecosistemas*, 14(1).
- Freeland, G. L. (1971). *Carbonate sediments in a terrigenous province: the reefs of Veracruz, Mexico*. Rice University.
- García. (1998). Climas (Clasificación de Köppen, modificada por García) Escala 1: 1 000 000. *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, DF, México.*
- García. (2013). *Desarrollo de la metodología para la aplicación de visión estereoscópica en la estimación de parámetros ecológicos de corales.*, UNAM, FES Zaragoza, Ciudad de México.
- Gladfelter, E. H., Monahan, R. K., y Gladfelter, W. B. (1978). Growth rates of five reef-building corals in the northeastern Caribbean. *Bulletin of Marine Science*, 28(4), 728-734.
- Glynn, P. (1993). Coral reef bleaching: ecological perspectives. *Coral Reefs*, 12(1), 1-17.
- Gómez, C., Paul, V., Ritson-Williams, R., Muehllehner, N., Langdon, C., y Sánchez, J. (2015). Responses of the tropical gorgonian coral *Eunicea fusca* to ocean acidification conditions. *Coral Reefs*, 34(2), 451-460.
- Google. (2015). Google Earth Cnes/Spot, Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Retrieved from <http://earth.google.com>
- Goreau, T. F., y Wells, J. (1967). The shallow-water Scleractinia of Jamaica: revised list of species and their vertical distribution range. *Bulletin of Marine Science*, 17(2), 442-453.

- Green, E. P., y Bruckner, A. W. (2000). The significance of coral disease epizootiology for coral reef conservation. *Biological Conservation*, 96(3), 347-361.
- Gutiérrez-Ruiz, C. V., Román-Vives, M. A., Vergara, C. H., y Badano, E. I. (2011). Impact of anthropogenic disturbances on the diversity of shallow stony corals in the Veracruz Reef System National Park. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(1).
- Hall, J. K. (2006). GEBCO Centennial Special Issue—Charting the secret world of the ocean floor: the GEBCO project 1903–2003. *Marine Geophysical Researches*, 27(1), 1-5.
- Heilprin, A. (1890). The corals and coral reefs of the western waters of the Gulf of México. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 303-316.
- Herman, C., Pet-Soede, L., Westmacott, S., Mangi, S., y Aish, A. (2002). Economic analysis of coral bleaching in the Indian ocean—Phase II. *Linden O., Souter D., Wilhelmsson D. and Obura D*, 251-262.
- Hernández, M., Barba, A., y Lozano, L. (2007). Análisis de la Información Científica en el Sistema Arrecifal Veracruzano. *A la memoria de Mario Lara Pérez Soto (1960-2003)*, 1.
- Hiatt, R. W., y Strasburg, D. W. (1960). Ecological relationships of the fish fauna on coral reefs of the Marshall Islands. *Ecological Monographs*, 30(1), 65-127.
- Horta-Puga, G., y Carriquiry, J. (2008). Growth of the hermatypic coral *Montastraea cavernosa* in the Veracruz Reef System. *Ciencias Marinas*, 34(1), 107-112.
- Hughes, T. P., Baird, A. H., Bellwood, D. R., Card, M., Connolly, S. R., Folke, C., . . . Kleypas, J. (2003). Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs. *Science*, 301(5635), 929-933.
- Humann, P., y Deloach, N. (1993). *Reef coral identification: Florida, Caribbean, Bahamas, including marine plants*: N. W. Publications. Ed. .
- Huston, M. (1985). Patterns of species diversity on coral reefs. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 16(1), 149-177.
- IUCN. (2001). *Categorías y criterios de la lista roja de la IUCN, Versión 3.1*. IUCN.
- Jiménez-Hernández, M., Granados-Barba, A., y Ortiz-Lozano, L. (2007). Análisis de la información científica en el sistema arrecifal veracruzano. *Investigaciones científicas en el sistema arrecifal veracruzano*, 1-16.
- Knowlton, N. (2001). The future of coral reefs. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(10), 5419-5425.
- Kuchler, D., Bour, W., y Douillet, P. (1988). Ground verification method for bathymetric satellite image maps of unsurveyed coral reefs. *ITC Journal*, 2, 196-199.
- Laclette, J. A., y Carvajal, E. (2006). *Instalación de boyas para la restauración, protección y manejo de los ecosistemas del Sistema Arrecifal Veracruzano* Retrieved from México, D.F.:
- Lang, J. C., Marks, K. W., Kramer, P. A., Kramer, P. R., y Ginsburg, R. N. (2010). AGRRA protocols version 5.4. *Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment, Miami, FL*.
- Liddell, W. D., y Tunnell Jr, J. W. (2011). Mexican Coral Reefs. *Gulf of Mexico Origin, Waters, and Biota: Volume 3, Geology*, 3, 341.
- Liu, G., Strong, A. E., Skirving, W., y Arzayus, L. F. (2006). *Overview of NOAA coral reef watch program's near-real time satellite global coral bleaching monitoring activities*. Paper presented at the Proc 10th Int Coral Reef Symp.

- Margalef, R. (1969). *Diversity and stability: a practical proposal and a model of interdependence*. Paper presented at the Brookhaven symposia in biology.
- Márquez, J. C., y Díaz, J. M. (2005). Interacciones entre corales y macroalgas: dependencia de las especies involucradas. *Bol. Invest. Mar. Cost*, 34, 227-242.
- Maxwell, W. (1970). *Deltaic patterns in reefs*. Paper presented at the Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts.
- Mayorga-Martínez, M., Bello-Pineda, J., Perales-Valdicia, H., y Pérez-España, H. (2017). *Escuchando a los arrecifes: usp de sonar multihaz para la modelación espacial de ecosistemas coralinos mesofóticos*. Retrieved from
- McCook, L. (1999). Macroalgae, nutrients and phase shifts on coral reefs: scientific issues and management consequences for the Great Barrier Reef. *Coral Reefs*, 18(4), 357-367.
- Morelock, J., y Koenig, K. J. (1967). Terrigenous sedimentation in a shallow water coral reef environment. *Journal of Sedimentary Research*, 37(4), 1001-1005.
- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84(922495), 2.
- Munday, P. (2002). Does habitat availability determine geographical-scale abundances of coral-dwelling fishes? *Coral Reefs*, 21(1), 105-116.
- NOM-059-SEMARNAT. (2010). Norma Oficial Mexicana para la Protección ambiental- Especies nativas de México de flora y fauna silvestre- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo. Retrieved from http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5173091
- Ortiz-Lozano, Granados-Barba, A., y Espejel-Carbajal, I. (2007). El contexto regional del área marina protegida Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano y las implicaciones para su manejo sustentable. *Investigaciones científicas en el sistema arrecifal veracruzano*, 275-286.
- Ortiz-Lozano, Granados-Barba, A., Solís-Weiss, V., y García-Salgado, M. (2005). Environmental evaluation and development problems of the Mexican Coastal Zone. *Ocean & Coastal Management*, 48(2), 161-176.
- Ortiz, C. M. (2014). *Zonación ecológica del arrecife Santiaguillo, Veracruz*. (Licenciatura), UNAM, FES Zaragoza, Ciudad de México.
- Padilla, C., y Lara, M. (1996). Efecto del tamaño de las colonias en el crecimiento de *Acropora palmata* en Puerto Morelos. Quintana Roo, México. *Hidrobiológica*, 6(1-2), 17-24.
- Parker Jr, R. O., Chester, A. J., y Nelson, R. S. (1994). A video transect method for estimating reef fish abundance, composition, and habitat utilization at Gray's Reef National Marine Sanctuary, Georgia. *Fishery Bulletin*, 92(4), 787-799.
- Pérez-España, H., y Vargas-Hernández, J. (2008). Caracterización ecológica y monitoreo del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano: primera etapa. *Universidad Veracruzana. Centro de Ecología y Pesquerías Informe final SNIBCONABIO proyecto No. DM002. México*.
- Pires, D. d. O., Migotto, A., y Marques, A. (1992). Cnidários bentônicos do Arquipélago de Fernando de Noronha, Brasil. *Bol. do Museu nac. NS Zoologia*.

- Porter, J. W. (1987). *Species Profiles: Life Histories and Environmental Requirements of Coastal Fishes and Invertebrates (South Florida). Reef-Building Corals*. Retrieved from
- Rangel, A. M. A., Jordan, L. K., Walker, B. K., Gilliam, D. S., Carvajal Hinojosa, E., y Spieler, R. E. (2007). Fish and coral reef communities of the Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (Veracruz Coral Reef System National Park) Veracruz, Mexico: preliminary results.
- Reed, J. K. (1985). *Deepest distribution of Atlantic hermatypic corals discovered in the Bahamas*. Paper presented at the Proc 5th Int Coral Reef Symp.
- Reyna, P. (2014). Modelo de soporte para la toma de decisiones en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano.
- Rigby, J., y McIntire, W. (1966). The Isla de Lobos and associated reefs. *Veracruz, Mexico*.
- Rogers, C. S., y Garrison, G. (2001). *Manual para el monitoreo de arrecifes de coral en el Caribe y Atlántico Occidental: Servicio de Parques Nacionales*.
- Romero, G. O. (2016). *Batimetría del arrecife del Parque Nacional del Sistema Arrecifal Veracruzano*. UNAM, FES Zaragoza.
- Rotjan, R. D., y Lewis, S. M. (2008). Impact of coral predators on tropical reefs. *Marine Ecology Progress Series, 367*, 73-91.
- Rouphael, A. B., y Inglis, G. J. (2001). "Take only photographs and leave only footprints"?: An experimental study of the impacts of underwater photographers on coral reef dive sites. *Biological Conservation, 100*(3), 281-287.
- Rozalez-Hoz, L., Carranza-Edwards, A., Cerón-Alvarado, J., y Celis-Hernández, O. (2010). Concentración de metales en la zona arrecifal de Veracruz, Golfo de México. *Actas INAGEQ, 16*(1), 75.
- Rueda, V. O. M., y García, C. G. (2002). Vulnerabilidad y adaptación regional ante el cambio climático y sus impactos ambientales, sociales y económicos. *Gaceta ecológica*(65), 7-23.
- Salas-Pérez, J., y Granados-Barba, A. (2008). Oceanographic characterization of the Veracruz reefs system. *Atmósfera, 21*(3), 281-301.
- SEMARNAT, y CONANP. (2017). *Programa de Manejo del Parque Nacional Sistema arrecifal Veracruzano*. Retrieved from
- Smith, S. (1978). Coral-reef area and the contributions of reefs to processes and resources of the world's oceans. *Nature, 273*(5659), 225.
- SOMAC. (2017). Declaratoria de Chetumal 2017 SOMAC. Retrieved from <http://www.somac.org.mx/noticia/declaratoria-de-chetumal-2017-somac/>
- Spalding, M. D., y Grenfell, A. M. (1997). New estimates of global and regional coral reef areas. *Coral Reefs, 16*(4), 225-230.
- Stanley, G. D., y Fautin, D. G. (2001). The origins of modern corals. *Science, 291*(5510), 1913-1914.
- Szmant, A., Weil, E., Miller, M., y Colon, D. (1997). Hybridization within the species complex of the scleractinian coral *Montastraea annularis*. *Marine Biology, 129*(4), 561-572.
- Tunnell, J. W. (2007). *Coral reefs of the southern Gulf of Mexico*: Texas A&M University Press.

- Tyce, R. C. (1986). Deep seafloor mapping systems--A review. *Marine Technology Society Journal*, 20(4).
- Vargas-Hernández, J. M., Román-Vives, M. A. M., Sánchez Castro, J. L., y Vázquez Machorro, A. (2017). Corales Pétreos de los arrecifes Veracruzanos. Guía de campo para su identificación.
- Velasco, G. G., y Winant, C. D. (1996). Seasonal patterns of wind stress and wind stress curl over the Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 101(C8), 18127-18140.
- Veron, J. E. N. (1995). *Corals in space and time: the biogeography and evolution of the Scleractinia*: Cornell University Press.
- Victoria, G. (1825). *Derrotero de las islas Antillas, de las costas de Tierra Firme y de las del seno mexicano: corregido y aumentado y con un apéndice sobre las corrientes del océano Atlántico á mandado reimprimir*.
- Villamizar, E., Yranzo, A., González, M., Herrera, A. T., Pérez, J., y Camissotti, H. (2014). Diversidad y condición de salud de corales pétreos en algunos arrecifes del Parque Nacional Archipiélago Los Roques, Venezuela. *Acta Biologica Venezuelica*, 34, 2.
- Washington, H. (1984). Diversity, biotic and similarity indices: a review with special relevance to aquatic ecosystems. *Water research*, 18(6), 653-694.
- Weinberg, S. (1981). A comparison of coral reef survey methods. *Bijdragen tot de Dierkunde*, 51(2), 199-218.
- West, J. M., y Salm, R. V. (2003). Resistance and resilience to coral bleaching: implications for coral reef conservation and management. *Conservation Biology*, 17(4), 956-967.

GLOSARIO

A

atolones

Un atolón es una isla coralina oceánica, por lo general con forma de anillo más o menos circular, o también se entiende como el conjunto de varias islas pequeñas que forman parte de un arrecife de coral, con una laguna interior que comunica con el mar.11

B

batimetría

Del gr. βάθύς bathýs 'profundo' y -metría. Geol. Estudio de las profundidades oceánicas mediante el trazado de mapas de isóbatas, así como de la distribución de animales y vegetales marinos en sus zonas isobáticas.25

C

cobertura

Se refiere a la cantidad de substrato ocupado por un organismo, expresado en porcentaje.16

D

distribución

Es la manera en que un taxón biológico está dispuesto espacialmente.19

E

estructura

Modo de estar organizadas u ordenadas las partes de un todo.20

H

heterogeneidad

Que está formado por elementos de distinta clase o naturaleza 20

I

ícticas

Del griego antiguo ἰχθύς (ijtús, "pez") y de -ico. ... 11

isobáticas

La isóbata es una curva que se utiliza para la representación cartográfica de los puntos de igual profundidad en el océano y en el mar, así como en lagos de grandes dimensiones. 14

M

mono-específicos.

Es un adjetivo que describe a un género que contiene sólo una especie conocida. 37

P

parche

El termino parche se refiere a la distribución desigual y variable de los organismos del arrecife de coral en el espacio. 48

patrones

Modelo que sirve de muestra para sacar otra cosa igual. 17

R

roca madre

Roca que mediante procesos de meteorización y erosión da lugar a la formación de la parte inorgánica del suelo. 12

ANEXOS

Anexo 1 Especies coralinas dentro del arrecife la Anegadilla, Veracruz.

Agaricia grahamae (AGRA)

Abundancia:

1.3%

Cobertura:

0.22%



Agaricia lamarcki (ALAM)

Abundancia:

0.37%

Cobertura:

1.1 %



Colpophyllia natans (CNAT)

Abundancia:

7.41%

Cobertura:

4.2%



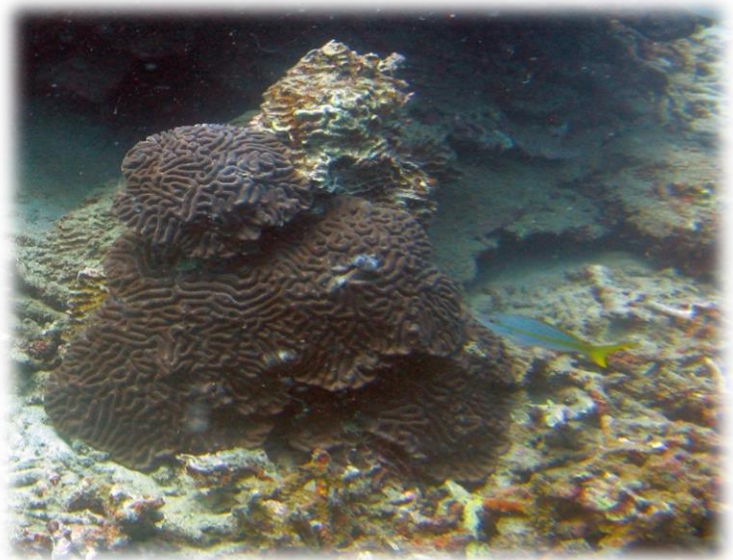
Pseudodiploria clivosa (PCLI)

Abundancia:

0.87%

Cobertura:

0.38%



Pseudodiploria strigosa (PSTR)

Abundancia:

1.0%

Cobertura:

4.8%



Millepora alcornis (MALC)

Abundancia:

1.3%

Cobertura:

0.1



Montastraea cavernosa (MCAV)

Abundancia:

6.28%

Cobertura:

1.9



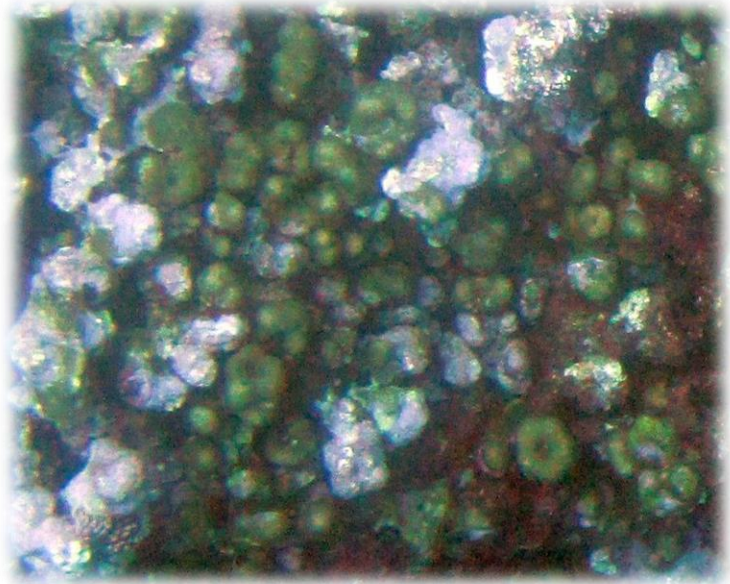
Madracis decactis (MDEC)

Abundancia:

21.1%

Cobertura:

2.2%



Orbicella annularis (OANN)

Abundancia:

12.5%

Cobertura:

2.5%



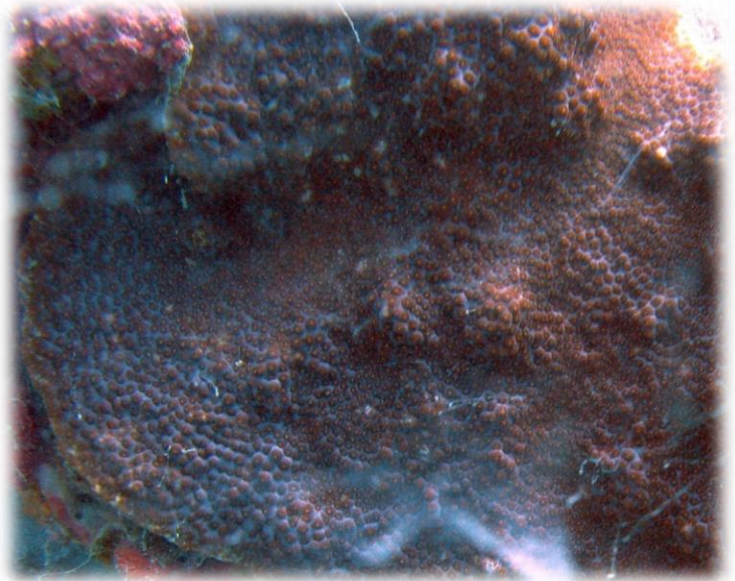
Orbicella faveolata (OFAV)

Abundancia:

45.7%

Cobertura:

6.5%



Orbicella franksi (OFRA)

Abundancia:

0.75%

Cobertura:

0.08%



Porites astreoides(PAST)

Abundancia:

1.3%

Cobertura:

0.3%



Acropora palmata (APAL)

Abundancia:

1.2%

Cobertura:

0.3%

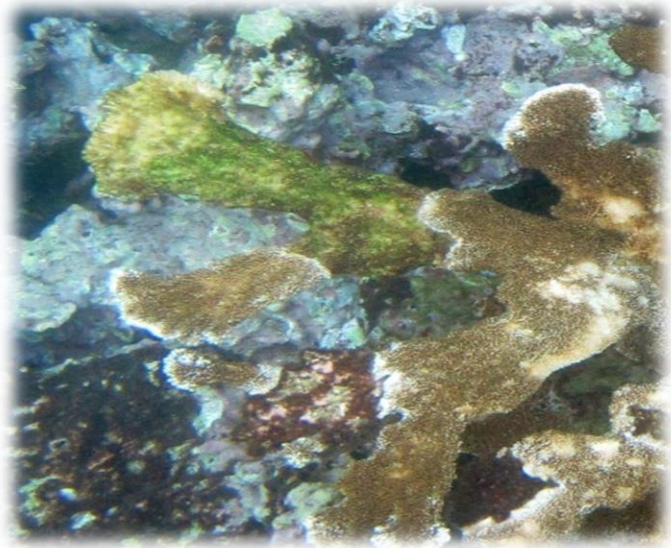


Anexo 2 Especies coralinas con daño en el arrecife la Anegadilla, Veracruz.

Daño causado por algas en las especies:

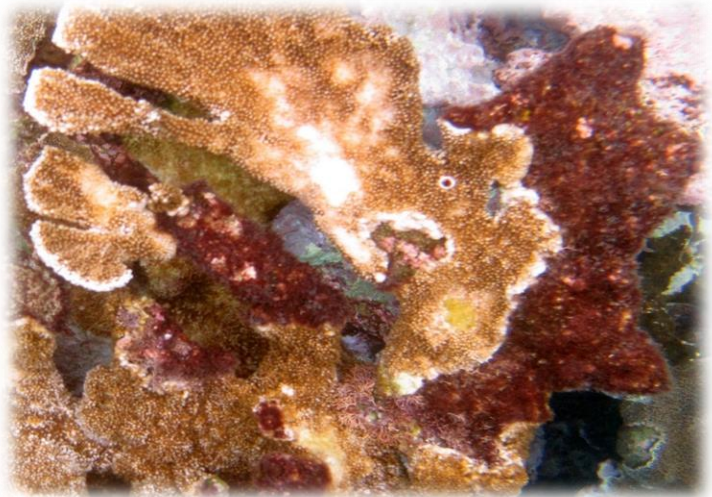
Acropora palmata (APAL)-FMA

FMA: Macro-algas



Acropora palmata (APAL)-CYAN

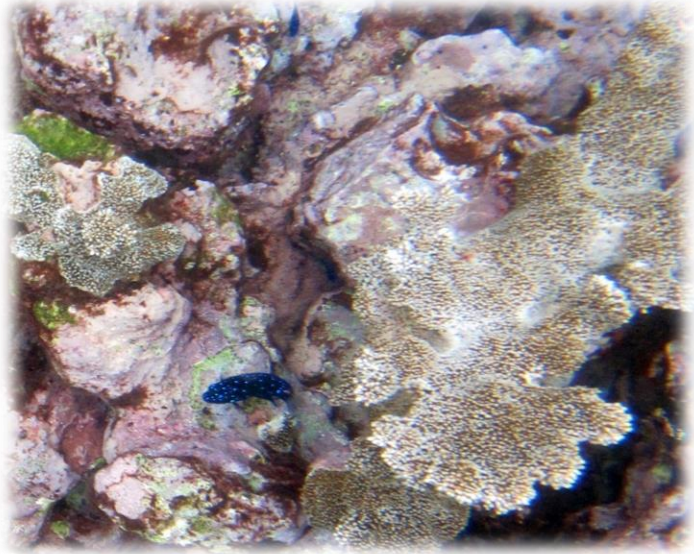
CYAN: Cianobacterias



Daño causado por blanqueamiento

Acropora palmata (APAL)-BLC

BLC: Blanqueamiento



Orbicella annularis (OANN)

Competencia entre individuos

