



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

“COMPLEJIDAD DE HÁBITAT Y DIVERSIDAD DE ORGANISMOS COMO INDICADORES DE SALUD ARRECIFAL EN SANTIAGUILLO VERACRUZ.”

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el título de:

BIÓLOGO

PRESENTA:

José Eduardo López Vallarta

Director de Tesis:

Dr. Antonio Valencia Hernández

Ciudad de México, 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



*"Me tengo que morir en el mar, pues si me ha dado todo,
tiene que ser el mar el que me quite todo"*

Don Eduardo
(Pescador de Veracruz)

Contenido

Resumen	7
Introducción	8
Marco Teórico	8
Zona de Estudio	11
Hipótesis	14
Objetivos	15
General	15
Particulares	15
Método	16
Resultados	24
Sitios representativos y complejidad de hábitat	24
Índices ecológicos de organismos asociados	28
Cobertura coralina	32
Índices ecológicos de estructuras coralinas.....	37
Composición morfológica de estructuras coralinas	41
Relación entre complejidad de hábitat y diversidad de organismos	45
Análisis de Resultados	52
Sitios Representativos y Complejidad de Hábitat.....	52
Índices Ecológicos de Organismos Asociados	54
Cobertura coralina	58
Índices Ecológicos de Estructuras Coralinas	61
Composición morfológica de estructuras coralinas	64
Relación entre complejidad de hábitat y diversidad de organismos.....	67
Conclusiones	71

Recomendaciones	73
Bibliografía	74
Anexos.....	78
Anexo I. Lista de organismos asociados al arrecife Santiaguillo.....	78
Anexo II. Formas de crecimiento coralino.....	79
Anexo III. Coeficientes de correlación entre variables.....	81

Índice de Figuras

Figura 1. Área que comprende el PNSAV. En rojo se señala el polígono de 1992 y en amarillo el polígono actual decretado en el 2012. Tomado de Reyna-Gonzales, (2014). La flecha roja señala el arrecife Santiaguillo.....	11
Figura 2. Sistema de visión estereoscópica. Se muestra el sistema de cámaras utilizado en los foto-transectos armado y listo para usarse.	16
Figura 3. Realización de foto-transectos. Se muestra al buzo 3 con el sistema de visión estereoscópica manteniendo la misma profundidad durante la toma de fotografías.	17
Figura 4. Pares estereoscópicos. Se observa la fotografía de la cámara izquierda y derecha respectivamente y entre las líneas amarillas el campo de visión 3D.	18
Figura 5. Cuadrícula para la captura de Landmarks. En rojo se muestra la dirección que se sigue para la obtención de los 25 puntos de referencia que va de arriba abajo siguiendo un zigzag.	19
Figura 6. Estimación de la cobertura coralina. Se muestra en línea punteada (flecha roja) el coral que se está evaluando, y subrayado en rojo se muestran los pixeles totales correspondientes a este organismo.....	21
Figura 7. Ubicación de los sitios de muestreo. Se observan los 9 transectos seleccionados distribuidos alrededor de la isla de Santiaguillo	24
Figura 8. Dominancia del tipo de fondo. Se muestran los sitios ordenados de forma descendente según el porcentaje sin ocupación biológica.	26
Figura 9. Relación entre el porcentaje de cobertura sin ocupación biológica (SOB), profundidad (Prof) y complejidad de hábitat (1-CH). Se utiliza el inverso de la complejidad y la profundidad se categorizó de la siguiente manera: 5-10=0.1, 10-15=0.2 y 15-20=0.3.....	27
Figura 10. Abundancia de organismos asociados. Se muestra el número de organismos de cada grupo taxonómico presentes en cada sitio ordenado de manera ascendente; P= peces, Co= otros cordados, E= equinodermos, M= moluscos, A=anélidos y C= cnidarios.....	28
Figura 11. Abundancia de organismos asociados por sitio. Se muestra la distribución de los organismos en los diferentes sitios del arrecife Santiaguillo.....	29
Figura 12. Abundancia relativa de los organismos asociados. Se muestra el porcentaje de organismos totales del arrecife Santiaguillo.....	29
Figura 13. Índices ecológicos por sitio. Se observa el comportamiento de los índices en todos los sitios de muestreo. D_0 = Riqueza, D_1 = Exponencial de la entropía de Shannon, D_2 = Inverso del índice de Simpson, D_2/D_1 = Equidad de Hill.	31
Figura 14. Cobertura béntica arrecifal. Se muestran los sitios ordenados de forma ascendente según el porcentaje de ocupación biológica.	32
Figura 15. Cobertura coralina. Se muestra la cobertura total de corales por sitio ordenados de forma ascendente, tomando en cuenta coral sano y dañado.	33
Figura 16. Cobertura coralina relativa. Se muestran los sitios ordenados de forma ascendente según el porcentaje de CRCS= cobertura relativa de coral sano, CRADB= cobertura relativa de coral con daño biológico, CRDA= cobertura relativa de coral con daño antrópico.	34

<i>Figura 17. Estructura de la comunidad béntica por sitio. Se muestran los valores de cobertura total de corales, cobertura de algas y esponjas.</i>	<i>35</i>
<i>Figura 18. Estructura de la comunidad béntica del arrecife Santiaguillo. Se muestra la suma de los porcentajes de corales, algas y esponjas de todos los sitios de muestreo. SOB: sin ocupación biológica, COC: cobertura de organismos competidores, CTC: cobertura total de corales, CS: coral sano, CDB: coral con daño biológico, CDA: Coral con daño antrópico.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 19. Salud coralina del arrecife Santiaguillo. Se muestra la comparación de coberturas de corales sanos y corales con algún tipo de daño.</i>	<i>36</i>
<i>Figura 20. Abundancia de estructuras coralinas. Se muestra el número de organismos de cada forma coralina ordenado de manera ascendente.</i>	<i>37</i>
<i>Figura 21. Abundancia de estructuras coralinas por sitio. Se muestra la distribución de las estructuras coralinas en los diferentes sitios del arrecife Santiaguillo.</i>	<i>38</i>
<i>Figura 22. Abundancia relativa de las estructuras coralinas. Se muestra el porcentaje de estructuras coralinas totales del arrecife Santiaguillo.</i>	<i>38</i>
<i>Figura 23. Índices ecológicos por sitio. Se observa el comportamiento de los índices en los sitios. D0= Riqueza, .. D1= Exponencial de la entropía de Shannon, D2= Inverso del índice de Simpson, D2/D1= Equidad de Hill.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 24. Diversidad morfológica vs complejidad de hábitat. Se calculó el inverso de la complejidad (CH-1) y el logaritmo de la diversidad (Log D1-CM).</i>	<i>42</i>
<i>Figura 25. Sitios de la zona norte del arrecife. Se muestra la comparación entre el logaritmo de la diversidad morfológica (Log D1-CM) y la complejidad de hábitat (CH-1).</i>	<i>43</i>
<i>Figura 26. Sitios de la zona sur del arrecife. Se muestra la comparación entre el logaritmo de la diversidad morfológica (Log D1-CM) y la complejidad de hábitat (CH-1)</i>	<i>43</i>
<i>Figura 27. Diversidad morfológica vs diversidad coralina. Se observan los sitios ordenados de forma ascendente según el valor de diversidad morfológica (D1-CM).</i>	<i>44</i>
<i>Figura 28. Diversidad de organismos vs complejidad de hábitat. Se muestran los sitios ordenados de forma ascendente según el valor de la CH.</i>	<i>45</i>
<i>Figura 29. Sitios de la zona de barlovento en el arrecife. Se muestra la relación entre el logaritmo de la diversidad de organismos asociados (LogD1-OA) y la complejidad de hábitat (1-CH).</i>	<i>46</i>
<i>Figura 30. Sitios de la zona de sotavento del arrecife. Se muestra la relación entre el logaritmo de la diversidad de organismos asociados (LogD1-OA) y la complejidad de hábitat (1-CH).</i>	<i>46</i>
<i>Figura 31. Relación entre la profundidad y la complejidad de hábitat. Se observan que a mayor complejidad de hábitat también hay mayor profundidad.</i>	<i>47</i>
<i>Figura 32. Relación entre complejidad de hábitat y diversidad de corales. Se muestran los sitios ordenados de forma ascendente según el valor de la diversidad de corales(D1-C).</i>	<i>48</i>
<i>Figura 33 Sitios de la zona sur del arrecife. Se muestra la relación entre la diversidad de estructuras coralinas y la complejidad de hábitat.</i>	<i>49</i>
<i>Figura 34. Sitios de la zona norte del arrecife. Se muestra la relación entre la diversidad de estructuras coralinas y la complejidad de hábitat.</i>	<i>49</i>

Índice de Tablas

<i>Tabla 1. Organización por grupos de los principales arrecifes del PNSAV. El arrecife Santiaguillo (*) es considerado por el parque como zona núcleo.</i>	<i>12</i>
<i>Tabla 2. Descripción de los sitios de muestreo. Los valores de profundidad se muestran en metros; A = Arenoso, CM = Coral muerto, E = Escombros de coral y R = Rocoso. Se muestra el inverso de la complejidad (-1).</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 3. Dominancia del tipo de Fondo. Los valores representan el porcentaje de cobertura dentro de todo el transecto; S.O.B = Sin ocupación biológica.</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 4. Abundancia de organismos asociados. Se observan los totales por sitio y por grupo taxonómico.</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 5. Índices ecológicos de los organismos asociados. D₀= Riqueza, D₁= Exponencial de la entropía de Shannon, D₂= Inverso del índice de Simpson, D₂/D₁= Equidad de Hill.</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 6. Cobertura béntica arrecifal. CS= coral sano, CDB= coral con daño biológico, CDA= coral con daño antrópico, CBA=cobertura béntica arrecifal.</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 7. Abundancia de estructuras coralinas. Se observan los totales por sitio y por forma coralina.</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 8. Índices ecológicos de estructuras coralinas. D₀= Riqueza, D₁= Exponencial de la entropía de Shannon, D₂= Inverso del índice de Simpson, D₂/D₁= Equidad de Hill.</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 9. Índices de la composición morfológica. D₀= Riqueza, D₁= Exponencial de la entropía de Shannon, D₂= Inverso del índice de Simpson, D₂/D₁= Equidad de Hill.</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 10. Variables con correlación. Se muestran solo las variables que muestran una relación estadísticamente significativa.</i>	<i>50</i>

RESUMEN

La salud arrecifal es una línea de investigación que se basa en el estudio de algunas variables específicas denominadas “indicadores”, los cuales funcionan como herramientas de diagnóstico que describen los cambios sufridos dentro del sistema. Con la finalidad de estimar el mayor número de indicadores sin perturbar el arrecife, se planteó utilizar un sistema de cámaras con visión estereoscópica para estudiar y calcular estas variables dentro del arrecife Santiaguillo del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV). Para esto se realizaron 43 fototransectos alrededor del arrecife y se estimó la complejidad de hábitat, cobertura y salud coralina, cobertura de esponjas, cobertura de algas, cobertura de los distintos tipos de fondo, así mismo, se cuantificaron peces, equinodermos, moluscos, anélidos, cnidarios y otros cordados; posteriormente se calcularon índices ecológicos y se calcularon los coeficientes de correlación entre variables. El análisis de los indicadores mostró que la identificación de sitios saludables depende de la relación entre variables que se analice, ya que la complejidad de hábitat indica que los sitios más saludables son los de la parte sur, mientras que la relación entre complejidad de hábitat y diversidad de organismos indicaron diferencias entre los sitios de sotavento y barlovento. Los resultados obtenidos mediante este monitoreo no invasivo coinciden con lo reportado por otros autores para esta zona. Finalmente se comprobó la aplicación del método al demostrar que con un solo tipo de muestreo se pueden evaluar las mismas variables que otros autores evalúan con diferentes muestreos, reduciendo así el tiempo de muestreo, el número de muestreos, y la necesidad de contar con amplia experiencia taxonómica, de igual forma, este método no invasivo homogeniza los resultados al calcular todas las variables en los mismos metros cuadrados. Los resultados indican que el monitoreo no invasivo mediante el uso de pares estereoscópicos es una opción viable para el estudio de sistemas arrecifales, ya que además de analizar un mayor número de variables bajo el mismo muestreo, no resulta dañino para el sistema ya que ningún organismo es perturbado o extraído de su hábitat.

Palabras clave: fotogrametría, complejidad de hábitat, diversidad de organismos, bioindicadores.

INTRODUCCIÓN

MARCO TEÓRICO

La complejidad de hábitat es un elemento primordial de todo estudio ecológico, sin embargo, debido a las variedades de estructuras físicas del hábitat en la naturaleza se han dado lugar a una gran cantidad de enfoques conceptuales que intentan definir la relación entre el organismo y la estructura (McCoy & Bell, 1991).

Según la Administración Oceánica y Atmosférica Nacional de los EUA “*National Oceanic and Atmospheric Administration*” se define a la complejidad de hábitat como la extensión del área y el número y los diversos tipos de hábitats y zonas ecológicas dentro de un área específica (NOAA, 2014). No obstante, por el gran número de definiciones dependiendo del objeto de estudio, autores como McCoy y Bell (1991), realizan una compilación de definiciones que están enfocadas a sistemas terrestres y de especial énfasis en la complejidad de la vegetación.

MacArthur y MacArthur (1961) mencionaron que la diversidad de especies de aves puede ser pronosticada en función de la altura del follaje, y que la diversidad de especies de plantas no tiene nada que ver con la diversidad de aves, esto quiere decir que no importa que especies de plantas estén en el lugar, las aves van a preferir un sitio con una estructura física determinada.

La complejidad de hábitat en el ambiente marino puede ser estimada mediante el uso de diferentes técnicas que pueden ser invasivas como son: la técnica de la cadena (Risk, 1972), el método de presión (Dustan *et al.*, 2013), el método de fractales (Martin-Garin *et al.*, 2007), el método del ángulo mínimo (Tokeshi & Arakaki, 2012) y el método de punto intercepto (Lam *et al.*, 2006). O también puede monitorearse mediante técnicas no invasivas como son: el método de foto-transecto (Grigg, 1994) y el método de video-transecto (Lam *et al.*, 2006), entre otros.

Uno de los trabajos que marcaron la pauta en cuanto a la relación entre la complejidad de hábitat y la diversidad de especies fue el de Risk (1972), en este trabajo se evaluó la complejidad de hábitat, la diversidad de peces y la diversidad de esponjas; tomando en cuenta la cobertura de coral vivo y de coral muerto o dañado, resultando solamente una correlación significativa entre la diversidad de peces y la complejidad de hábitat.

Del mismo modo Palacios y Zapata (2014) realizaron un estudio en el cual se comparó la diversidad de peces asociados a corales masivos y corales ramificados. Ellos encontraron que los corales masivos presentaban una mayor diversidad de especies y que ambos tipos de arrecife presentaron la misma riqueza de especies.

A su vez, Tews *et al.*, (2004) mencionan que una revisión bibliográfica de 85 publicaciones reveló que la mayoría de los artículos hacen referencia a una relación entre la heterogeneidad del hábitat y la diversidad de especies, cabe mencionar que estos trabajos son enfocados a ecosistemas terrestres, y que esta revisión no contempló ningún ecosistema acuático.

Hixon y Beets (1993), realizaron un estudio entre el tamaño de refugio y la relación predador – presa usando bloques de concreto de 1 m³ con diferentes tamaños y número de refugios en un bloque, encontrando que el tamaño del pez no se relacionaba con el tamaño del refugio ya que los organismos tendían a elegir refugios más grandes que su propio tamaño. Por otra parte, se observó que la abundancia de los organismos tiende a aumentar cuando las presas se encuentran cerca de refugios con medidas más cercanas al diámetro de su cuerpo, ya que, al competir por el sitio, los organismos más grandes que cabían en dicho espacio desplazaban a los pequeños.

En otro estudio Gratwicke y Speight (2005) de igual forma utilizaron estructuras artificiales y se midió la diversidad y abundancia de los organismos dependiendo el tamaño y número de refugios. Se encontró por primera vez que la presencia de erizos en arrecifes artificiales aumentó el doble la diversidad y la abundancia de los peces, y que la presencia de erizos en ambientes no tan complejos igualmente aumento la diversidad de especies que en zonas con mayor número de refugios y de mayor tamaño.

Lo anterior indica que los organismos asociados a arrecife juegan un papel importante en las comunidades ícticas, sin embargo, ninguno de los autores menciona el porqué de estas relaciones ni cómo es que funcionan.

Por lo tanto, el estudio de la complejidad de hábitat como un indicador de salud en los arrecifes ya sean naturales o artificiales, no debe considerar únicamente a los peces y refugios, sino a todos los organismos asociados a estos.

Teniendo en cuenta que la mayoría de los trabajos que se enfocan al estudio de la relación entre la complejidad de hábitat y la diversidad de los organismos son realizados en ambientes terrestres con especial énfasis en la vegetación, y que los estudios en ambientes arrecifales tienen múltiples métodos que pueden ser dañinos o invasivos al sistema y que no toman en cuenta a todos los organismos asociados, este trabajo pretende analizar la diversidad de los organismos asociados a los arrecifes a nivel de grupos generales (peces, equinodermos, algas, esponjas, moluscos, gasterópodos, crustáceos y anélidos), tomando en cuenta el máximo de grupos presentes en el muestreo como sea posible, asimismo, registrar el estado de salud de los corales en general, caracterizándolo solamente como sano, con daño biológico o con daño antrópico.

Asimismo, la complejidad de hábitat se evaluará mediante un sistema de cámaras no invasivo hacia la comunidad arrecifal, utilizando los principios teóricos de otros métodos pero con las modificaciones necesarias, ya que el método de foto-transecto mediante el uso de pares estereoscópicos no ha sido utilizado frecuentemente en este tipo de estudios, sin embargo este método es muy confiable para obtener medidas de la distancias reales de los organismos y entre estos, esto es importante ya que se pueden obtener medidas con muy poco rango de error utilizando solo fotografías.

ZONA DE ESTUDIO

El Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) fue originalmente decretado como Parque Nacional en 1992 (DOF, 1992), este primer polígono comprendía un área de 53,238 Hectáreas. Sin embargo, en el año 2000 (DOF, 2000) se modificó el polígono ampliando la extensión de éste a 65,516 hectáreas (Figura 1). El parque se localiza en el Golfo de México en la porción central del estado de Veracruz, México con unas coordenadas geográficas de $19^{\circ} 2' 16.8''$ y $19^{\circ} 15' 32.4''$ de Latitud Norte y $95^{\circ} 46' 55.2''$ y $96^{\circ} 11' 45.6''$ de Longitud Oeste (FIR, 2004).

El PNSAV se ubica frente a las costas de los municipios de Veracruz, Boca del Río y del poblado de Antón Lizardo, perteneciente al municipio de Alvarado. Está formado por 23 arrecifes y 5 islas, de los cuales 11 se localizan frente a Antón Lizardo y el resto frente al Puerto de Veracruz separados por la desembocadura del río Jamapa. El PNSAV enlaza al noreste con el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan y al este con el Sistema Arrecifal de Campeche y Yucatán (CONANP, 2011; Ortiz-Lozano *et al.*, 2013).

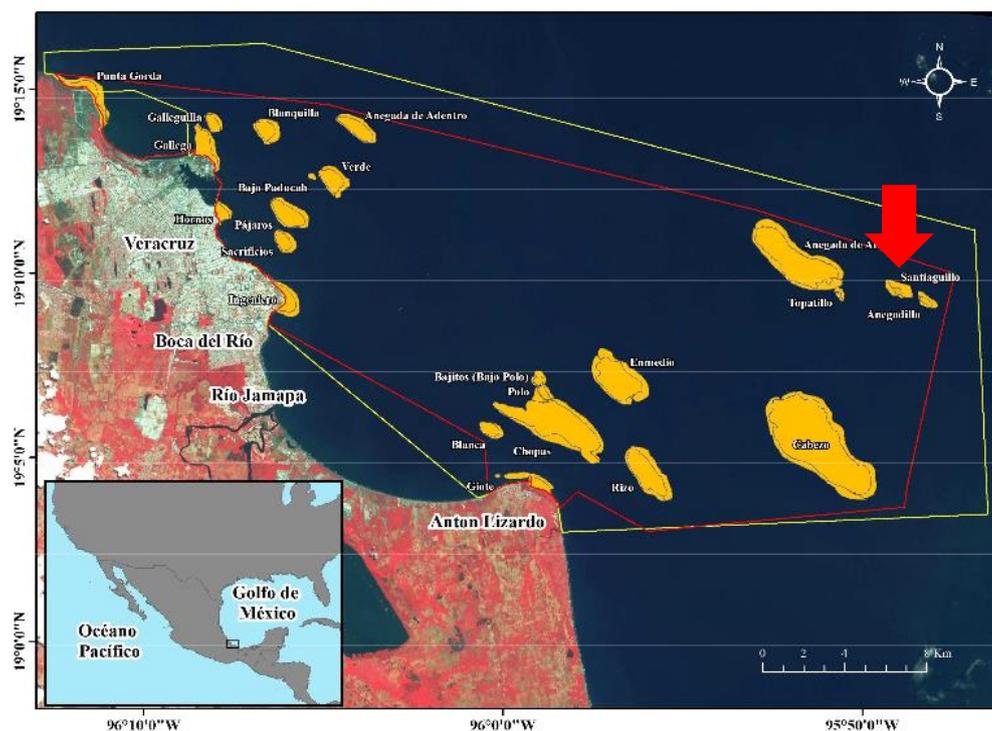


Figura 1. **Área que comprende el PNSAV.** En rojo se señala el polígono de 1992 y en amarillo el polígono actual decretado en el 2012. Tomado de Reyna-Gonzales, (2014). La flecha roja señala el arrecife Santiaguillo.

La superficie del parque se encuentra sobre la Placa Tectónica Norteamericana, presenta un tipo de marea semidiurna, la salinidad media anual es de 35‰ y puede variar de salobre a hipersalino, la profundidad media oscila entre los 5 y los 20 metros; la luz y transparencia pueden variar entre los 1.5 y 15 metros según la variación estacional. El clima del parque es semicálido-húmedo con lluvias en dos épocas bien marcadas: la de nortes, que se presenta de septiembre a abril, y la de lluvias, que se presenta de mayo a agosto. La temperatura promedio anual es de 26°C, las temperaturas más bajas se registran en enero y febrero y oscilan por los 18°C.

Existen más de 192 especies de algas en el parque, la fauna está distribuida en 10 *Phyla*, 361 familias, 536 géneros y 1101 especies, de estos, existen 47 especies de esponjas, 84 especies de corales, 339 especies de moluscos, 140 especies de crustáceos, 10 especies de reptiles, 81 especies de aves y 256 especies de peces distribuidos a lo largo de todos los arrecifes (CONABIO, 2005; INE, 2007).

El PNSAV se divide en dos grupos: Este y Oeste, los arrecifes más representativos presentes en cada grupo se muestran en la Tabla 1. Este trabajo se realizó en el arrecife Santiaguillo ubicado a unos 45 minutos de la costa de Antón Lizardo con coordenadas geográficas de 19° 08' 57" de latitud norte y 95°48' 48" de longitud Oeste.

Tabla 1. **Organización por grupos de los principales arrecifes del PNSAV.** El arrecife Santiaguillo (*) es considerado por el parque como zona núcleo.

Grupo Oeste	Grupo Este
Gallega	Blanca
Galleguilla	Giote
Blanquilla	Sargazo
Verde	La Palma
Mersey	*Santiaguillo
	Cabezo Norte (valiente)
	Cabezo Sur

Según la CONANP (2011), en el arrecife Santiaguillo se encuentran más de 33 especies de corales de los grupos denominados blandos y duros, de los cuales destacan cuerno de alce (*Acropora palmata*), cuerno de ciervo (*Acropora cervicornis*), coral cerebro (*Diploira sp y Pseudodiploria sp*), coral montañoso (*Montastraea cavernosa*) y coral estrella (*Siderastrea siderea*).; asociados al arrecife coralino existen más de 1,400 especies de organismos de grupos tales como equinodermos, moluscos crustáceos, peces, poliquetos, quelonios, esponjas, y algunos mamíferos marinos como el delfin (*Tursiops truncatus*).

HIPÓTESIS

Debido a la naturaleza del proyecto, no es posible establecer una hipótesis *a priori*, sin embargo, se parte de los siguientes supuestos teóricos:

Partiendo del supuesto que la diversidad de peces tiene una relación directa con la heterogeneidad del hábitat, se espera que la diversidad de los demás grupos taxonómicos asociados al arrecife esté igualmente vinculada a la complejidad topográfica del sistema. Por otra parte, se supone que un arrecife saludable es aquel que presenta una buena salud coralina y una alta complejidad de hábitat, lo cual se refleja en un elevado índice de diversidad, sin embargo, por el grado de sobreexplotación del arrecife, es posible que una buena salud coralina no refleje una buena diversidad de especies o viceversa.

OBJETIVOS

GENERAL

- ✘ Estimar la salud del arrecife mediante la relación entre la complejidad de hábitat y la diversidad de organismos asociados.

PARTICULARES

- ✘ Conocer la complejidad de hábitat de los sitios representativos del arrecife Santiaguillo, Veracruz.
- ✘ Cuantificar el número de organismos asociados a cada transecto.
- ✘ Evaluar la diversidad y abundancia de tantos grupos de organismos del sistema como sea posible.
- ✘ Documentar el estado de salud de los corales en cada sitio, así como los tipos de daño.

MÉTODO

La obtención de datos se realizó mediante 7 muestreos en el periodo comprendido de enero-2016 a mayo-2017. Se realizaron inmersiones alrededor de toda la isla, los sitios de muestreo dependieron del tipo de fondo que se encontró a diferentes profundidades, buscando abarcar todos los tipos de fondo posibles a las profundidades comprendidas entre 5 y 20 metros; el rango de profundidad seleccionado se fundamenta en que la cantidad de luz que penetra en la columna de agua a estas profundidades es la más adecuada para el desempeño fotosintético de las zooxantelas de la mayoría de las especies coralinas, sin embargo, cuando se observó un tipo de fondo diferente con poblaciones coralinas a mayores profundidades se realizó el muestreo correspondiente.

Para la realización de los foto-transectos se empleó equipo de buceo autónomo SCUBA (*Self-Contained Underwater Breathing Apparatus*), cinta métrica, brújula de buceo, reloj resistente al agua, computadora de buceo y sistema de visión estereoscópica el cual, consta de dos cámaras Canon PowerShot G12 con sus respectivas carcasas (*housings*) sumergibles montadas en una barra de aluminio con flotadores y contrapeso para mantener una flotación neutra en el agua, estas cámaras están situadas a una distancia y un ángulo conocidas entre sí, a las cuales se les programó un disparo simultaneo para tomar fotografías en ráfaga (Figura 2). Los foto-transectos se realizaron manteniendo la misma distancia del fondo (2 m) durante todo el tiempo que duró el transecto.

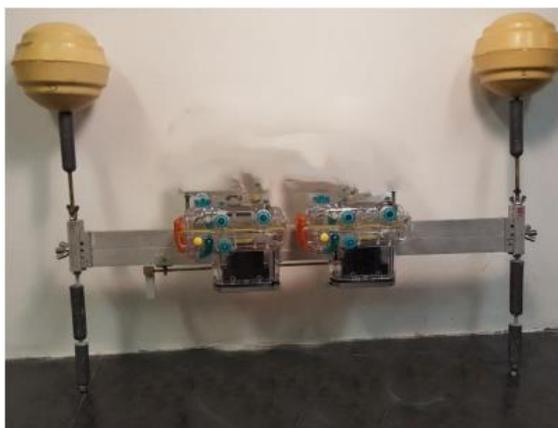


Figura 2. **Sistema de visión estereoscópica.** Se muestra el sistema de cámaras utilizado en los foto-transectos armado y listo para usarse.

Para realizar el foto-transecto se requirió de tres buzos, el primero de ellos se mantuvo estable marcando el punto inicial del transecto y tomó el inicio de la cinta métrica; el segundo avanzó con la cinta midiendo 20 metros y con la brújula conservando la misma orientación, el tercer buzo es el que se hizo cargo del sistema de cámaras, el cual encendió una vez que el primer buzo le dio la indicación, este tercer buzo mantuvo una velocidad y profundidad constante, ya que cualquier cambio en la velocidad (ya sea aumente o disminuya) pudo provocar información deficiente o muy redundante, así mismo, un cambio en la profundidad pudo afectar el cálculo de distancias reales.

En la Figura 3 se observa al buzo tres realizando la toma de fotografías con el sistema de pares estereoscópicas. Una vez medidos los 20 metros, el segundo buzo espera al tercer buzo manteniendo flotación neutra, cuando el tercer buzo llega a los 20 metros, el segundo buzo le da la indicación que el transecto terminó, el buzo tres marca el fin del transecto pausando las cámaras hasta el siguiente transecto.

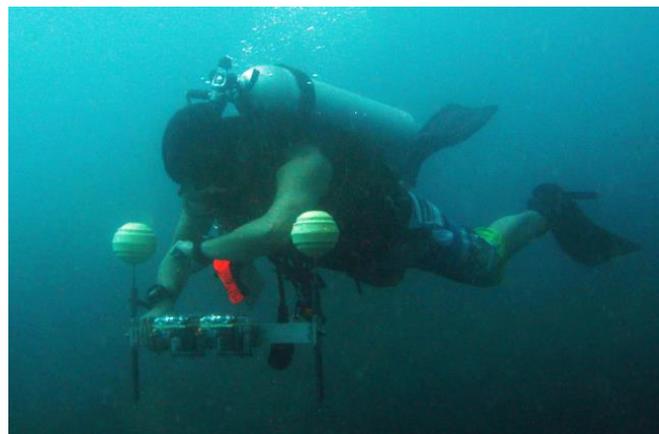


Figura 3. **Realización de foto-transectos.** Se muestra al buzo 3 con el sistema de visión estereoscópica manteniendo la misma profundidad durante la toma de fotografías.

Mientras tanto, en superficie, el equipo de laboratorio registró el trayecto de los buzos mediante un GPS marca Garmin, marcando los “waypoints” (coordenadas geográficas guardadas para identificar puntos de referencia dentro del transecto) donde los buzos hacen la inmersión y el acenso. Esto es evidentemente útil, ya que bajo el agua la señal del GPS no penetra, y es necesario que se cuente con un registro de las coordenadas donde se realizaron los transectos para poder ubicar el transecto en un mapa georreferenciado, así mismo, si el lugar presenta alguna característica importante, o algún detalle que requiera ser evaluado posteriormente, con esta herramienta es posible volver al lugar marcado sin muchas dificultades.

Para corroborar la ubicación de los sitios dentro de un mapa, se comparó la hora en que se tomó la fotografía con la hora del GPS, de esta manera sólo se necesitó revisar la hora de la primera y la última foto de cada transecto para buscar las coordenadas dentro del rango de tiempo en que se realizó el transecto. Ya que se obtuvieron los datos satisfactoriamente se procedió al análisis de fotografías mediante el uso de distintos programas computacionales.

Para calcular distancias 3D a partir de imágenes 2D se necesitó el par estereoscópico de cada fotografía, para esto, se realizó una selección de aquellas fotografías que hayan sido capturadas al mismo tiempo en segundos verificando que existiera traslape entre estas, esto es necesario ya que en un minuto se pueden tomar varias fotografías, y porque, aunque las cámaras son del mismo modelo, no tienen la misma velocidad al momento de la toma de fotografías en ráfaga (Figura 4).

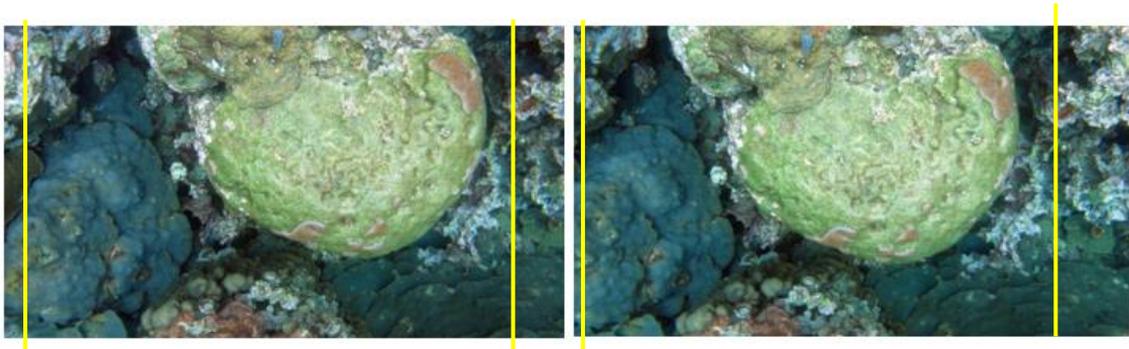


Figura 4. **Pares estereoscópicos.** Se observa la fotografía de la cámara izquierda y derecha respectivamente y entre las líneas amarillas el campo de visión 3D.

Ya con los pares estereoscópicos de cada fotografía se procedió a calcular la complejidad de hábitat de cada transecto, para esto se realizó una cuadrícula de 6x6 a cada una de las fotos (izquierda y derecha) como se muestra en la

Figura 5, posteriormente se analizaron por separado en el programa *Landmarks Taker* donde se marcó como punto de referencia el rasgo representativo más cercano a la intersección de las líneas horizontales y verticales. Este programa proporcionó las coordenadas X, Y de los puntos de referencia marcados; estas coordenadas X, Y se introdujeron al programa LT3D, el cual convirtió los dos pares de coordenadas X, Y de ambas fotos en un solo bloque de coordenadas X, Y, Z. Finalmente, las coordenadas X, Y, Z se utilizaron para calcular las distancias en 2D y en 3D respectivamente; para las distancias 2D se usó la ecuación 1, mientras que las distancias 3D se calcularon con la ecuación 2 utilizando el programa de uso libre Excel.

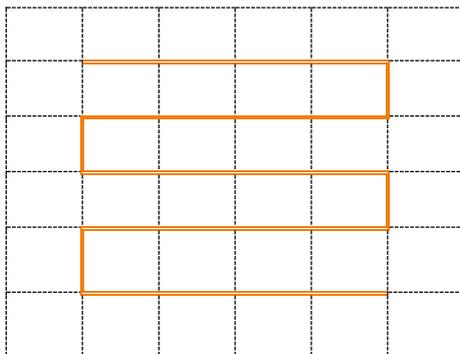


Figura 5. **Cuadrícula para la captura de Landmarks.** En rojo se muestra la dirección que se sigue para la obtención de los 25 puntos de referencia que va de arriba abajo siguiendo un zigzag.

$$\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Ecuación 1. **Cálculo de la Distancia 2D**

$$\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

Ecuación 2. **Cálculo de la Distancia 3D**

Teniendo en cuenta que ya se conocen las distancias entre cada uno de los puntos de referencia se aplicó el principio del método de la cadena para evaluar la complejidad de hábitat como se muestra en la ecuación 3.

$$CH = \frac{X}{Lc} - 1$$

Ecuación 3. **Cálculo de la Complejidad de Hábitat con el método de la cadena**

Donde: CH= complejidad de hábitat

X= Longitud de la cadena después del muestreo

Lc= Longitud real de la cadena (20 metros)

Los puntos de referencia en la cuadrícula fueron analizados en zigzag con el fin de cubrir la mayor área posible y que los detalles de rugosidad pudieran ser bien identificados en todos los sitios de muestreo.

Sin embargo, como no se utilizó una cadena, la ecuación fue modificada como se muestra en la ecuación 4, en la cual ya no se tomaron medidas en metros, si no en la proporción de las distancias 2D y 3D de las imágenes.

$$CH = \frac{D2D}{D3D}$$

Ecuación 4. **Complejidad de Hábitat con el método de pares estereoscópicos.**

Donde: CH= complejidad de hábitat

D2D= Suma de las distancias 2D de cada punto*

D3D= Suma de las distancias 3D de cada punto*

*Se utilizó el promedio de las distancias para obtener la complejidad del hábitat por área y no por línea.

Los valores de la complejidad de hábitat van de 0 a 1.0, si los valores se acercan a 1.0 son menos complejos lo cual implicaría un transecto con terreno plano; por el contrario, entre más pequeño de 1.0 sea el valor tiene mayor complejidad, lo cual implicaría un terreno rugoso (1.0 = nula complejidad y 0= máxima complejidad).

Para el conteo de los organismos asociados, se utilizó el programa Spiccer, en el cual se registró el número de organismos de Equinodermos, Moluscos, Anélidos, Cnidarios y Cordados presentes en el transecto. Debido a la importancia que el grupo de los peces tiene para algunos autores, se decidió separarlos del grupo de los cordados.

Todos los organismos se contabilizaron en las fotos con traslape seleccionadas anteriormente para evitar contar el mismo organismo en múltiples ocasiones. El conteo de los organismos no se diferenció por especie, ya que no forma parte de los objetivos de este trabajo, además, la identificación taxonómica de los organismos requiere un nuevo proyecto con técnicas de muestreo diferentes a las implementadas en este estudio.

La cobertura coralina se obtuvo utilizando el programa Photoshop CS5, en este se usó la herramienta “Lazo magnético” para seleccionar el contorno de los corales y así obtener el número de píxeles que corresponden a cada organismo, como se muestra en la Figura 6 el coral es contorneado siguiendo todas las irregularidades particulares de cada coral.

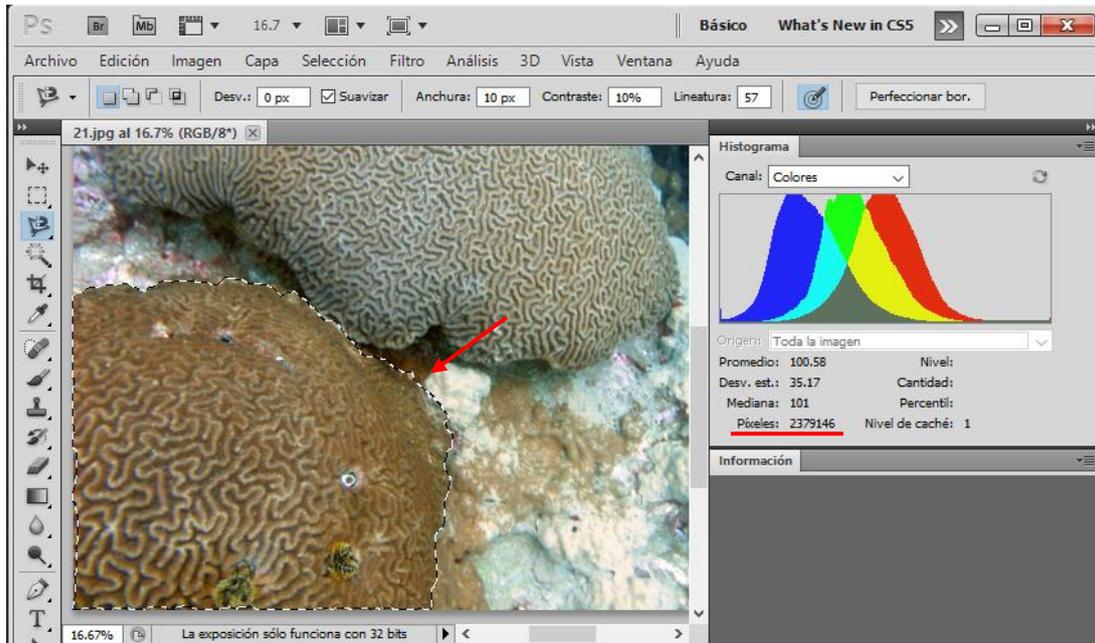


Figura 6. **Estimación de la cobertura coralina.** Se muestra en línea punteada (flecha roja) el coral que se está evaluando, y subrayado en rojo se muestran los píxeles totales correspondientes a este organismo.

Los corales no se identificaron por especie sino por tipo de crecimiento (forma) como: Cerebro, Digitiforme, Gorgonáceo, Hidrocoral, Foliar, Incrustante, Montículo, Ramificaciones Aplanadas y Ramificaciones Redondas, ya que la forma de los corales juega un papel sumamente importante en la complejidad de hábitat.

Asimismo, no se usó el programa Spiccer para los conteos de estructuras coralinas, ya que en muchos corales es difícil establecer una unidad de conteo entre individuos, porque no es posible detectar donde empieza y dónde termina un coral; por lo anterior, se decidió contar el número de registros de cada forma coralina, así se establece que cada registro fue de una estructura separada de otra por alguna barrera física, ya que, si no hay separación entre estructuras sigue siendo el mismo individuo.

En cada estructura coralina se calcularon los píxeles de las partes de coral sano, coral con daño biológico y coral con daño antrópico. De igual forma se calculó la cobertura de algas y esponjas presentes en cada foto, ya que se consideran como organismos de competencia para los corales, los cuales no fueron diferenciados ni caracterizados de ninguna forma.

Se calcularon índices ecológicos para organismos asociados y para estructuras coralinas, en ambos grupos se calculó el índice de Shannon-Wiener y Simpson con el programa PAST Old. Sin embargo, estos índices fueron transformados a números de diversidad de Hill, que representan el número efectivo de especies.

Los números de Hill no son otra cosa más que las transformaciones matemáticas de los índices de Shannon-Wiener y Simpson, estas transformaciones son una medida del grado de distribución de las abundancias relativas entre las especies y se expresan de la siguiente manera:

Número 0: $D_0 = S$

S = Número de especies (grupos taxonómicos o formas coralinas).

Número 1: $D_1 = e^{H'}$

H' = Índice de Shannon-Wiener calculado con logaritmos naturales.

Número 2: $D_2 = 1/D_{si}$

D_{si} = Índice de Simpson.

El valor del número en una medida de diversidad D indica la sensibilidad a la rareza de las especies. La diversidad de orden 0 (D_0) resulta absolutamente insensible a las diferencias en las abundancias relativas de las especies y se refiere concretamente a la riqueza de las especies. En D_1 todas las especies son incluidas con un peso exactamente proporcional a su abundancia en la comunidad y se calcula como el exponencial de la diversidad de Shannon-Wiener. Finalmente, D_2 que representa el inverso del índice de Simpson da más importancia a las especies comunes.

Se decidió transformar los índices a números de Hill, ya que la técnica de muestreo no se basa en especies, si no en grupos taxonómicos o formas de coral, asimismo, es posible calcular un índice de equitabilidad que prácticamente no es afectado por la riqueza de especies, este índice se conoce como índice de equidad de Hill:

$$E_{Hi} = D_2/D_1$$

Gracias a estas transformaciones matemáticas se pueden interpretar mejor los valores de diversidad, ya que los valores de los índices de Shannon-Wiener y Simpson son más difíciles de interpretar pues no tienen las mismas unidades (Jost & González-Oreja, 2012; Moreno *et al*, 2011; Segnini, 1995).

Finalmente se obtuvieron los coeficientes de correlación entre todas las variables del proyecto para ver las relaciones que existían dentro del arrecife, esta tabla se obtuvo con el programa PAST Old, cabe mencionar que los coeficientes de correlación sólo muestran el valor de P y gracias a este fue posible identificar las variables que se relacionan entre sí, aunque no es posible decir si la relación es directa o inversa, además, algunas de estas posibles relaciones son redundantes, ya que la tabla puede marcar relación entre riqueza de estructuras coralinas y riqueza de formas coralinas, sin embargo, no tiene sentido seguir esta relación ya que se sabe desde un inicio que serán los mismos valores.

No obstante, estos coeficientes ayudarán a corroborar las relaciones que se encuentren a lo largo del proyecto y a descartar aquellas que no presenten significancia estadística.

RESULTADOS

SITIOS REPRESENTATIVOS Y COMPLEJIDAD DE HÁBITAT

Se realizaron 43 transectos en 1 año de muestreo, los transectos se revisaron individualmente y se utilizaron los criterios de tipo de fondo, ubicación en la isla, presencia de estructuras coralinas, profundidad y calidad de las fotografías para destacar los transectos más representativos dentro del arrecife. Para esto se revisaron los sitios propuestos por Ortiz-Cano (2014) y las zonas de sotavento y barlovento a las profundidades descritas por Pérez-España y Vargas-Hernández (2008). Al finalizar la selección resultaron 9 transectos (Figura 7 y Tabla 2).



Figura 7. **Ubicación de los sitios de muestreo.** Se observan los 9 transectos seleccionados distribuidos alrededor de la isla de Santiaguillo

Como se mencionó en el método, la ubicación geográfica de los sitios es aproximada ya que la señal del GPS no penetra la columna de agua, sin embargo, al coordinar la hora del GPS con la hora de las cámaras se pudo saber en qué lugar fue tomada la fotografía, de esta manera se buscaron las fotografías correspondientes a la mitad del transecto y se ubicó la hora de la foto en el trayecto del GPS para georreferenciarlo en un mapa.

Tabla 2. **Descripción de los sitios de muestreo.** Los valores de profundidad se muestran en metros; A = Arenoso, CM = Coral muerto, E = Escombros de coral y R = Rocoso. Se muestra el inverso de la complejidad (-1).

Sitio	Latitud	Longitud	Profundidad	Tipos de Fondo	Complejidad	Complejidad (-1)
1	19° 8'30.91"N	95°48'35.17"W	15 – 20	CM, E y R	0.54	0.46
2	19° 8'41.25"N	95°48'34.57"W	10 – 15	R	0.71	0.29
3	19° 8'34.57"N	95°48'36.70"W	10 – 15	CM, E y R	0.59	0.41
4	19° 8'37.52"N	95°48'38.61"W	10 – 15	A, CM, E y R	0.65	0.35
5	19° 8'36.67"N	95°48'23.75"W	15 – 20	A, CM y R	0.55	0.45
6	19° 8'41.60"N	95°48'41.25"W	5 – 10	R	0.68	0.32
7	19° 8'41.78"N	95°48'27.94"W	5 – 10	R	0.67	0.33
8	19° 8'33.68"N	95°48'22.83"W	15 – 20	CM, E y R	0.50	0.50
9	19° 8'44.46"N	95°48'35.86"W	10 – 15	R	0.74	0.26

El sitio con la mayor complejidad de hábitat fue el 8 con un valor de 0.50, seguido por el sitio 1 con 0.54, sitio 5 con 0.55, sitio 3 con 0.59, sitio 4 con 0.65, sitio 7 con 0.67, sitio 6 con 0.68, sitio 2 con 0.71 y finalmente sitio 9 con 0.74.

Todos los sitios presentan una complejidad de hábitat mayor o igual a 0.5, sin embargo, los sitios con menor complejidad (9, 2, 6 y 7) están localizados en la región norte del arrecife, mientras que los sitios con mayor complejidad (8, 1, 5 y 3) están situados en la región sur.

De igual forma, los sitios 8, 1 y 5 que presentan mayor complejidad son los que se encuentran a mayor profundidad entre 15 m – 20 m, seguidos por los sitios de menor complejidad 3, 4, 2 y 9 localizados a una profundidad de 10 m – 15 m, los sitios 6 y 7 son los únicos en el rango de profundidad de 5 m – 10 m.

Nuevamente los sitios de la región norte muestran los niveles más bajos, ahora en la profundidad en comparación con los sitios de la región sur que se caracterizan por tener una mayor profundidad.

La dominancia del tipo de fondo (Tabla 3 y Figura 8) se refiere al área del transecto que no está ocupada biológicamente, ya sea por cobertura de corales, algas o esponjas. Estos valores se presentan en porcentajes del total del transecto. La suma de los porcentajes de tipo de fondo da como resultado el porcentaje del transecto sin ocupación biológica.

Tabla 3. **Dominancia del tipo de Fondo**. Los valores representan el porcentaje de cobertura dentro de todo el transecto; S.O.B = Sin ocupación biológica.

Dominancia del tipo de Fondo					
Sitio	Coral muerto	Escombro	Arenoso	Rocoso	S.O.B.
1	7.2%	15.1%	0.0%	39.1%	61.4%
2	0.0%	0.0%	0.0%	93.3%	93.3%
3	1.8%	27.9%	0.0%	29.1%	58.8%
4	0.8%	4.8%	0.2%	59.0%	64.8%
5	2.0%	0.0%	11.0%	53.5%	66.5%
6	0.0%	0.0%	0.0%	37.4%	37.4%
7	0.0%	0.0%	0.0%	36.2%	36.2%
8	2.9%	17.6%	0.0%	46.5%	67.0%
9	0.0%	0.0%	0.0%	38.5%	38.5%

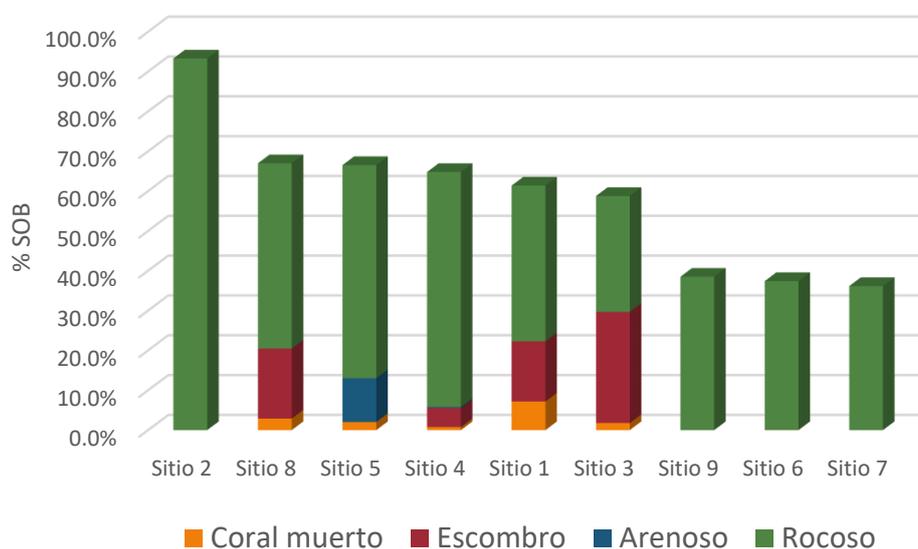


Figura 8. **Dominancia del tipo de fondo**. Se muestran los sitios ordenados de forma descendente según el porcentaje sin ocupación biológica.

El fondo rocoso se encuentra en todos los sitios, seguido por el coral muerto presente en 5, el escombro de coral en 4 mientras que el fondo arenoso sólo se presenta en 2.

El sitio 4 es el único que tiene presencia de todos los tipos de fondo, seguido por los sitios 1, 3, 5 y 8 que cuentan con 3, mientras los sitios 2, 6, 7 y 9 tienen un solo tipo de fondo.

El porcentaje de transecto sin ocupación biológica es un parámetro inicial de la comunidad coralina, ya que entre más alto sea este valor, menor cobertura coralina tendrá el sitio. Este porcentaje fue mayor en el sitio 2 con más del 90% del área del transecto sin ocupación biológica, seguido por el sitio 8 con 67.0%, el sitio 5 con 66.5%, sitio 4 con 64.8%, sitio 1 con 61.4%, sitio 3 con 58.8%, sitio 9 con 38.5%, sitio 6 con 37.4% y finalmente el sitio 7 que presenta un porcentaje del 36.2%.

Los valores del área sin ocupación biológica no tienen relación con la ubicación de los sitios, sin embargo, presenta relación con la profundidad. En la Figura 9 se muestra la relación entre el área del transecto sin ocupación biológica, el inverso de la complejidad de hábitat y la profundidad; se observa que el porcentaje de SOB y la complejidad aumentan conforme aumenta la profundidad.

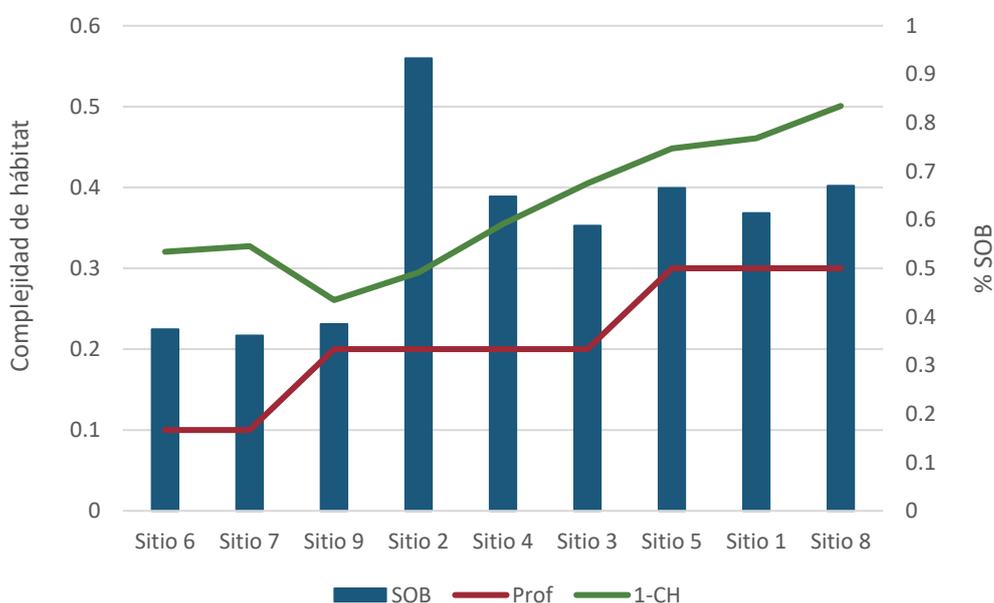


Figura 9. **Relación entre el porcentaje de cobertura sin ocupación biológica (SOB), profundidad (Prof) y complejidad de hábitat (1-CH).** Se utiliza el inverso de la complejidad y la profundidad se categorizó de la siguiente manera: 5-10=0.1, 10-15=0.2 y 15-20=0.3

El sitio 2 se aprecia muy dañado, ya que presenta baja complejidad, y muy alto porcentaje de transecto sin ocupación biológica.

ÍNDICES ECOLÓGICOS DE ORGANISMOS ASOCIADOS

En la Figura 10 y la Tabla 4 se muestra la abundancia de organismos presentes en cada sitio. El Anexo I muestra los organismos asociados presentes en el arrecife Santiaguillo.

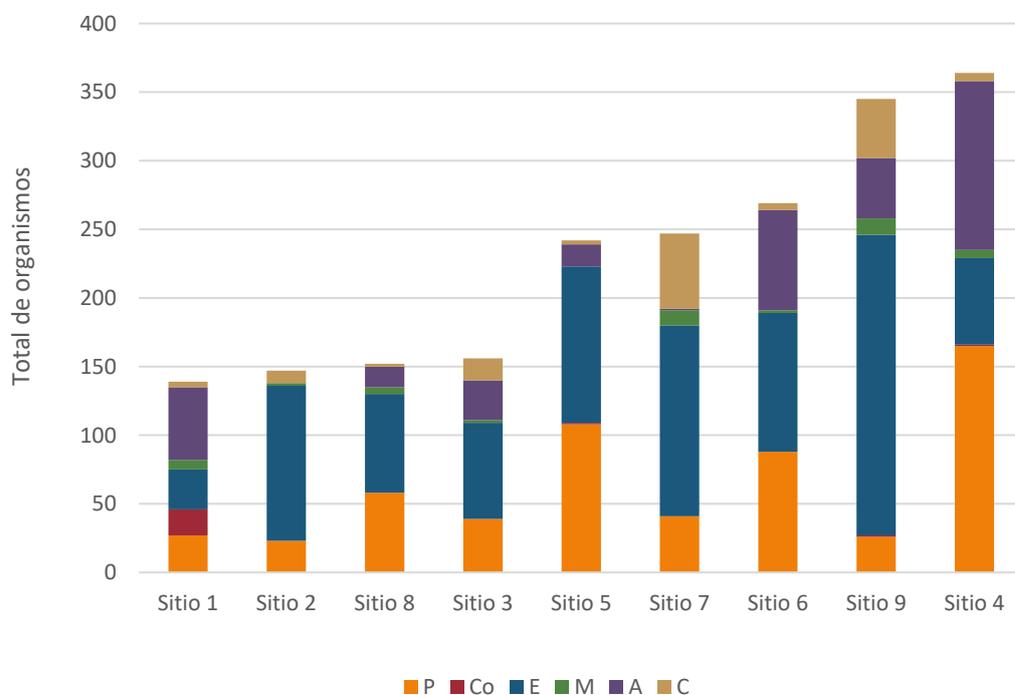


Figura 10. **Abundancia de organismos asociados.** Se muestra el número de organismos de cada grupo taxonómico presentes en cada sitio ordenado de manera ascendente; P= peces, Co= otros cordados, E= equinodermos, M= moluscos, A=anélidos y C= cnidarios.

Tabla 4. **Abundancia de organismos asociados.** Se observan los totales por sitio y por grupo taxonómico.

Sitio	Peces	Cordados	Equinodermos	Moluscos	Anélidos	Cnidarios	Total
1	27	19	29	7	53	4	139
2	23	0	113	2	0	9	147
3	39	0	70	2	29	16	156
4	165	1	63	6	123	6	364
5	108	1	114	0	16	3	242
6	88	0	101	2	73	5	269
7	41	0	139	11	1	55	247
8	58	0	72	5	15	2	152
9	26	1	219	12	44	43	345
Total	575	22	920	47	354	143	2061

Se contabilizó un total de 2,061 organismos, los sitios 1, 4 y 9 son los únicos que cuentan con los 6 grupos taxonómicos a diferencia del sitio 2 que solamente cuenta con 4. Sin embargo, el sitio 1 presenta el menor número de organismos asociados con 139 individuos, le sigue el sitio 2 con 147, sitio 8 con 152, sitio 3 con 156 individuos, sitio 5 con 242, sitio 7 con 247, sitio 6 con 269, sitio 9 con 345 y finalmente el sitio 4 con 364 individuos asociados a este transecto (Figura 11).

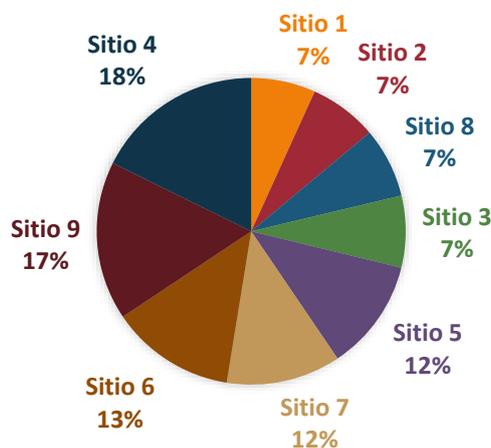


Figura 11. **Abundancia de organismos asociados por sitio.** Se muestra la distribución de los organismos en los diferentes sitios del arrecife Santiaguillo.

El grupo taxonómico con menor abundancia en los sitios de muestreo es el de los cordados con 22 organismos, seguido por los moluscos con 47, cnidarios con 143, anélidos con 354, peces con 575 y equinodermos con 920, siendo este último grupo el de mayor abundancia dentro del estudio, cabe mencionar que dentro del grupo de equinodermos solo se registraron erizos (Figura 12).

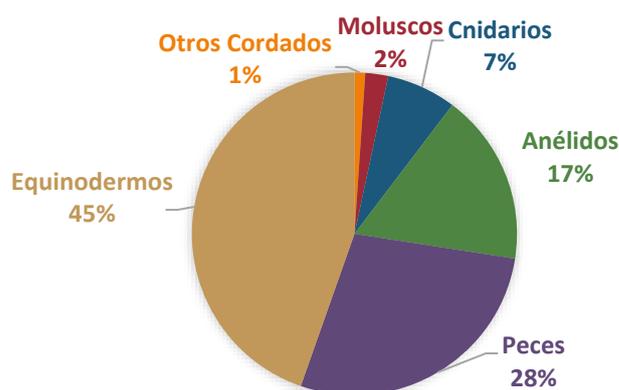


Figura 12. **Abundancia relativa de los organismos asociados.** Se muestra el porcentaje de organismos totales del arrecife Santiaguillo.

El grupo taxonómico de los erizos fue el más abundante en el arrecife ya que, estuvo presente en todos los sitios, seguido por los peces que se encontraron también en todos los sitios de muestreo. Sin embargo, los cnidarios también estuvieron presentes en todos los sitios, aunque en menor proporción. Los anélidos y los moluscos estuvieron presentes en 8 sitios. Finalmente, los otros cordados que es el grupo menos abundante, solo se encontró en 4 sitios, y en tres de estos hubo 1 registro. Todos los registros de cordados pertenecen al tunicado *Trididemnum solidum*.

La suma de las abundancias de erizos y peces representa más del 70% del total de los organismos asociados presentes en el arrecife Santiaguillo, sin embargo, la abundancia de erizos fue casi el doble que la abundancia de peces presentes en todos los sitios de muestreo. En la Tabla 5 se muestra la comparación de los índices ecológicos entre los sitios de muestreo.

Tabla 5. **Índices ecológicos de los organismos asociados.** D_0 = Riqueza, D_1 = Exponencial de la entropía de Shannon, D_2 = Inverso del índice de Simpson, D_2/D_1 = Equidad de Hill.

Sitio	D_0	D_1	D_2	D_2/D_1
1	6	4.655	1.331	0.285
2	4	2.058	2.626	1.276
3	5	3.698	1.447	0.391
4	6	3.254	1.538	0.472
5	5	2.641	1.740	0.659
6	5	3.313	1.474	0.445
7	5	3.055	1.655	0.541
8	5	3.061	1.615	0.527
9	6	3.123	1.790	0.573

La mayor riqueza de organismos se encuentra en los sitios 1, 4 y 9 seguidos por los sitios 3, 5, 6, 7 y 8 finalmente el sitio 2 es el que expone la menor riqueza. El sitio 1 cuenta con la mayor diversidad de organismos asociados en el arrecife, seguido por el sitio 3, sitio 6, sitio 4, sitio 9, sitio 8, sitio 7, sitio 5 y sitio 2 respectivamente.

La riqueza de organismos no tiene relación con la ubicación, ya que los sitios 9 y 2 presentan una cercanía considerable dentro del arrecife; por otro lado, la diversidad de organismos muestra que los sitios de sotavento cuentan con mayor diversidad en comparación con los sitios de barlovento dentro del arrecife.

El valor D_2 , es inversamente proporcional a D_1 , por lo tanto, el sitio con el valor más alto de diversidad es también el sitio con el valor más bajo de dominancia, dicho lo anterior, el sitio 2 es el que presenta mayor dominancia de algún grupo taxonómico, seguido por el sitio 9, sitio 5, sitio 7, sitio 8, sitio 4, sitio 6, sitio 3 y finalmente el sitio 1. Sin embargo, el sitio 9 es el quinto lugar en diversidad y el segundo en dominancia, esto se debe a que la abundancia de erizos representa más del 60% del total de los organismos del sitio.

Por otro lado, el valor de equidad de Hill muestra que el sitio 1 es el que presenta mayor equidad, seguido por los sitios 3, sitio 6, sitio 4, sitio 8, sitio 7, sitio 9, sitio 5 y finalmente el sitio 2 es el que presenta la menor equidad en el arrecife.

Aunque los sitios 9, 4 y 1 presentan la misma riqueza, y el sitio 4 tiene mayor número de individuos totales, el sitio 1 tiene una mayor diversidad y equitatividad entre los grupos de organismos y por lo tanto también tiene una menor dominancia en comparación con el sitio 4.

Por el contrario, el sitio 2 es el menos diverso dentro del estudio, ya que muestra la menor riqueza, es el sitio con el segundo valor más bajo de número de individuos, cuenta con el valor más alto de dominancia y el valor más bajo de equitatividad. Asimismo, como se muestra en la Figura 13, es el único que presenta un valor de dominancia mayor que el valor de diversidad, ya que la abundancia de erizos representa casi el 80% del total de los organismos.

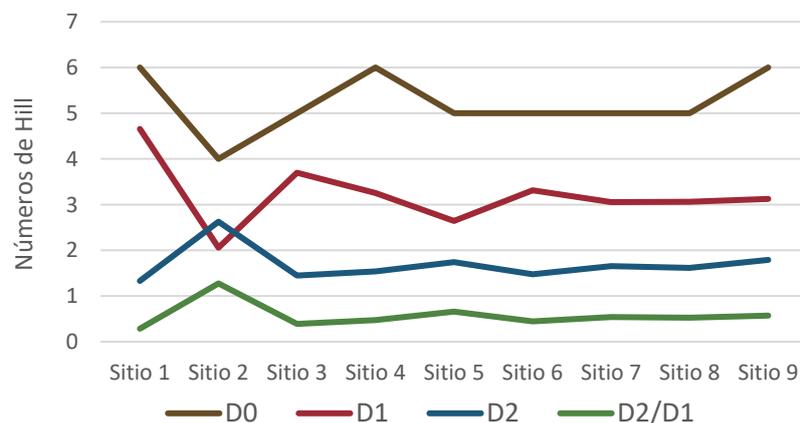


Figura 13. **Índices ecológicos por sitio.** Se observa el comportamiento de los índices en todos los sitios de muestreo. D_0 = Riqueza, D_1 = Exponencial de la entropía de Shannon, D_2 = Inverso del índice de Simpson, D_2/D_1 = Equidad de Hill.

COBERTURA CORALINA

La cobertura béntica arrecifal (Tabla 6 y Figura 14) muestra el área del transecto ocupada por cobertura de corales, algas y esponjas presentes en el arrecife Santiaguillo.

Tabla 6. **Cobertura béntica arrecifal.** CS= coral sano, CDB= coral con daño biológico, CDA= coral con daño antrópico, CBA=cobertura béntica arrecifal.

Cobertura de Organismos						
Sitio	CS	CDB	CDA	Algas	Esponjas	CBA
1	18.0%	4.8%	0.3%	13.0%	2.5%	38.6%
2	1.6%	0.2%	0.0%	2.0%	2.9%	6.7%
3	16.7%	10.3%	1.2%	10.3%	2.7%	41.2%
4	11.4%	17.4%	0.2%	5.4%	0.9%	35.2%
5	10.8%	15.6%	0.7%	0.4%	5.9%	33.5%
6	25.7%	26.8%	0.9%	8.3%	0.8%	62.6%
7	0.8%	0.04%	0.0%	37.4%	25.5%	63.8%
8	13.3%	13.1%	0.3%	0.2%	6.0%	33.0%
9	21.9%	4.1%	0.0%	31.3%	4.2%	61.5%

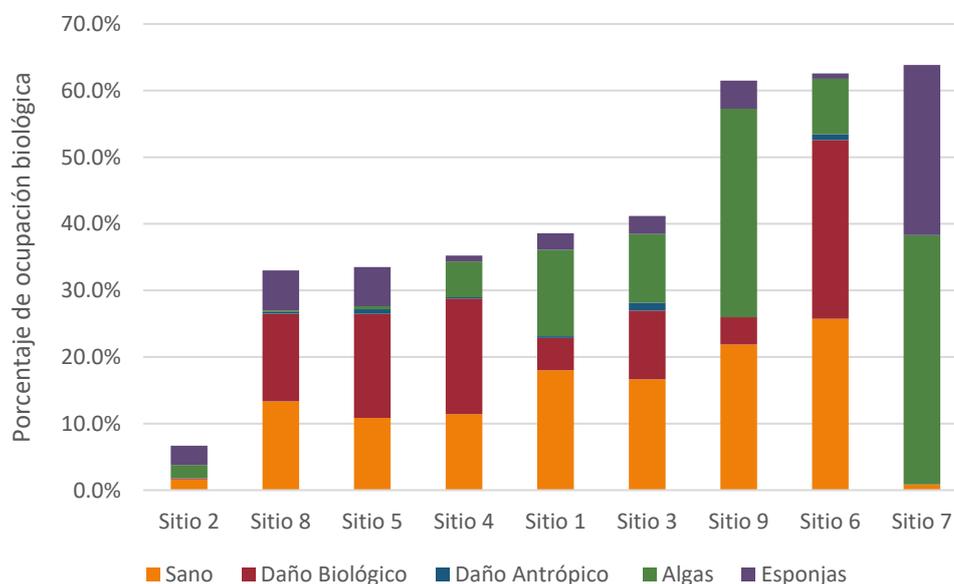


Figura 14. **Cobertura béntica arrecifal.** Se muestran los sitios ordenados de forma ascendente según el porcentaje de ocupación biológica.

El porcentaje de ocupación biológica ordenado de manera ascendente queda de la siguiente manera: sitio 2 con 6.7%, sitio 8 con 33.0%, sitio 5 con 33.5%, sitio 4 con 35.2%, sitio 1 con 38.6, sitio 3 con 41.2%, sitio 9 con 61.5%, sitio 6 con 62.6% y finalmente el sitio 7 con 63.8% de cobertura de ocupación biológica.

El sitio 6 muestra el mayor porcentaje de cobertura de coral sano, seguido del sitio 9, sitio 1, sitio 3, sitio 8, sitio 4, sitio 5, sitio 2 y sitio 7 respectivamente. Sin embargo, el sitio 6 también cuenta con el mayor porcentaje de cobertura de coral con daño biológico, esta vez seguido por el sitio 4, sitio 5, sitio 8, sitio 3, sitio 1, sitio 9, sitio 2 y sitio 7.

La cobertura de coral con daño antrópico fue mínima en el arrecife, sin embargo, el mayor porcentaje de este daño se encuentra en el sitio 3, seguido por los sitios 6, sitio 5, sitio 1, sitio 8 y sitio 4; los sitios 2, 7 y 9 no presentaron este tipo de daño.

Sin embargo, para evaluar la salud coralina es necesario descartar la cobertura de organismos competidores (COC) de la CBA En la Figura 15 se muestra la cobertura total de corales (CTC) por sitio.

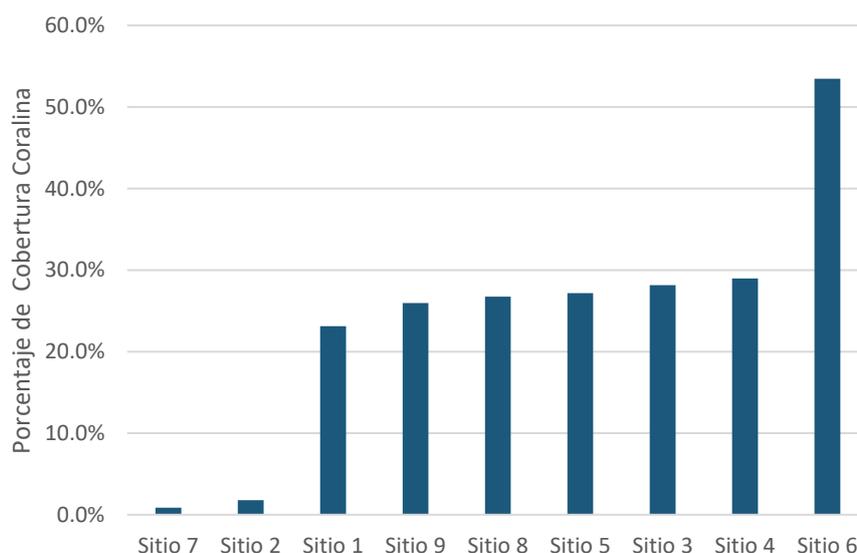


Figura 15. **Cobertura coralina.** Se muestra la cobertura total de corales por sitio ordenados de forma ascendente, tomando en cuenta coral sano y dañado.

Se observa que el sitio 7, a pesar de tener el primer lugar de ocupación biológica es el sitio con menor cobertura coralina con menos del 1%, el sitio 2 presenta 1.8%, le sigue el sitio 1 con 23.1%, sitio 9 con 26.0%, sitio 8 con 26.8%, sitio 5 con 27.2%, sitio 3 con 28.2%, sitio 4 con 29% y finalmente el sitio con mayor cobertura coralina fue el sitio 6 con más del 50% del transecto cubierto por algún tipo de coral.

No obstante, las coberturas relativas de los corales en cada sitio (Figura 16) sirven para conocer el porcentaje de daño dentro de la comunidad coralina, ya que poseer una alta cobertura coralina no significa que toda la comunidad se encuentre en un estado saludable.

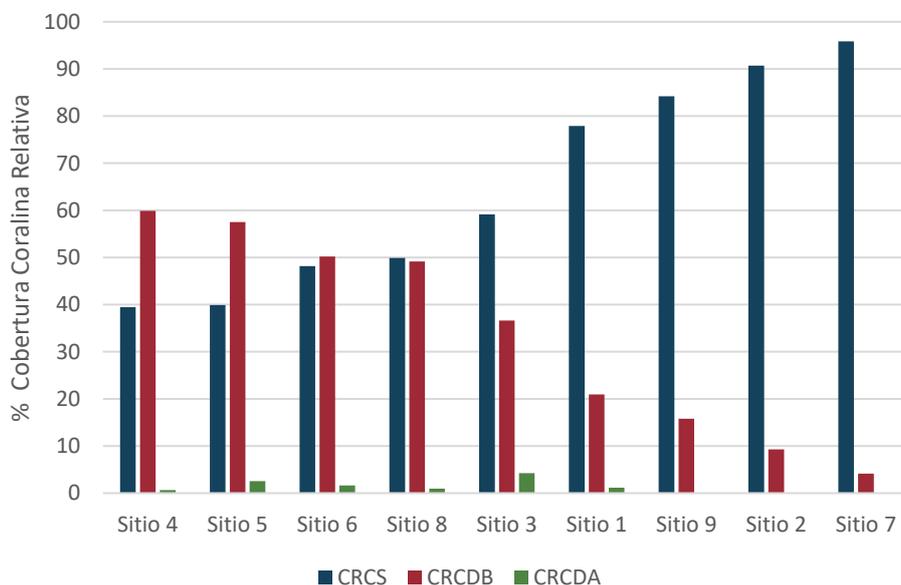


Figura 16. **Cobertura coralina relativa.** Se muestran los sitios ordenados de forma ascendente según el porcentaje de CRCS= cobertura relativa de coral sano, CRCDB= cobertura relativa de coral con daño biológico, CRCDA= cobertura relativa de coral con daño antrópico.

A pesar de presentar el menor porcentaje de CTC, los corales del sitio 7 se encuentran sanos en un 95%, lo mismo pasa con los corales del sitio 2, es un sitio con una muy baja cobertura coralina pero el 90% de sus corales se encuentran sanos.

Los sitios 1 y 9 presentan CTC dentro del promedio ($\pm 20\%$), sin embargo, presentan más del 70% de corales sanos. Asimismo, el sitio 3 presenta mayor cobertura de corales sanos en comparación con los corales dañados del transecto, sin embargo, en el sitio 3 se encuentra el mayor porcentaje de daño antrópico de todo el arrecife.

El sitio 6 es el que presenta mayor cobertura coralina total, pero más de la mitad de sus corales presentan un tipo de daño. El sitio 8 presenta una CTC promedio, pero sólo la mitad de sus colonias se encuentran saludables.

Finalmente, los sitios 4 y 5 presentan una CTC promedio, sin embargo, son los más afectados por algún tipo de daño ya que tienen mayor porcentaje de corales con daño biológico que corales sanos y ambos tienen presencia de daño antrópico.

La cobertura de coral vivo o cobertura total de corales es un parámetro utilizado para evaluar la salud arrecifal. De igual forma se usa la comparación entre las proporciones de coral – alga y coral – esponja como un indicador de la estructura de la comunidad béntica (Figura 17).

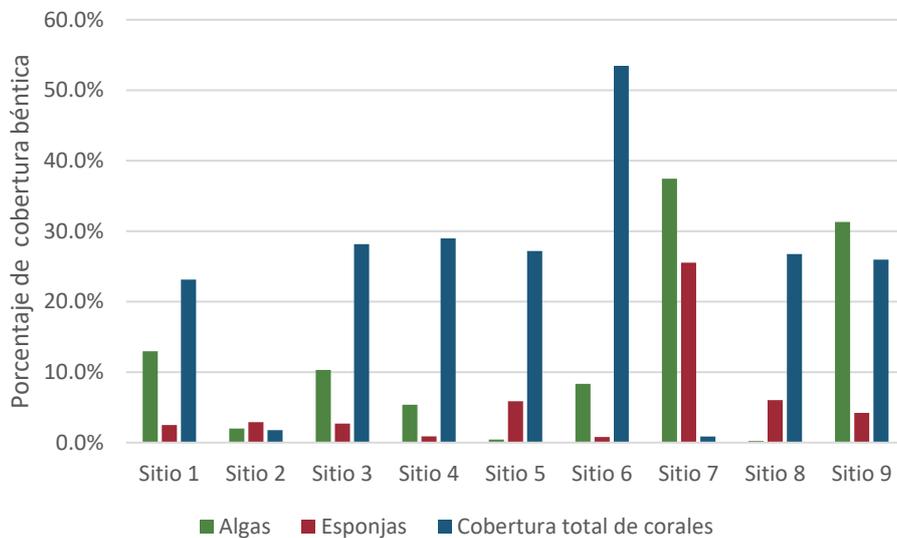


Figura 17. **Estructura de la comunidad béntica por sitio.** Se muestran los valores de cobertura total de corales, cobertura de algas y esponjas.

Las coberturas de organismos competidores con los corales se dieron de la siguiente manera: la cobertura de algas fue mayor en el sitio 7, seguido por el sitio 9, sitio 1, sitio 3, sitio 6, sitio 4, sitio, sitio 2, sitio 5 y sitio 8. Por otro lado, la cobertura de esponjas fue mayor en el sitio 7, seguido por el sitio 8, sitio 5, sitio 9, sitio 2, sitio 3, sitio 1, sitio 4 y sitio 6.

Los sitios 1, 3, 4, 5, 6 y 8 presentan mayor cobertura de coral vivo que de organismos competidores. El sitio 2 presenta el mismo porcentaje de algas que de corales (2%), sin embargo, el porcentaje de esponjas en este sitio fue mayor (2.9%).

El sitio 7 presenta mayor cobertura de algas y esponjas que de corales; la cobertura algal en el sitio 9 es mayor que la cobertura coralina y esta, a su vez, es superior a la de esponjas.

La ubicación de los sitios de muestreo no presenta relación con el porcentaje de coral sano, coral con daño biológico, coral con daño antrópico o cobertura de algas. Sin embargo, los sitios con mayor cobertura total de corales se encuentran en la parte de sotavento de la isla mientras que, la mayor cobertura de esponjas se encuentra en los sitios de la parte de barlovento.

En la Figura 18 se observa la cobertura total de todos los sitios del arrecife. El 58% del arrecife Santiaguillo se encuentra sin ocupación biológica, el 42% restante corresponde a la cobertura béntica arrecifal, la cual se divide en cobertura de organismos competidores (12% algas y 6% esponjas) y cobertura total de corales (24%). La comunidad coralina del arrecife Santiaguillo está compuesta por un 13% de organismos sanos, 10% de organismos con daño biológico y 1% de organismos con daño antrópico.

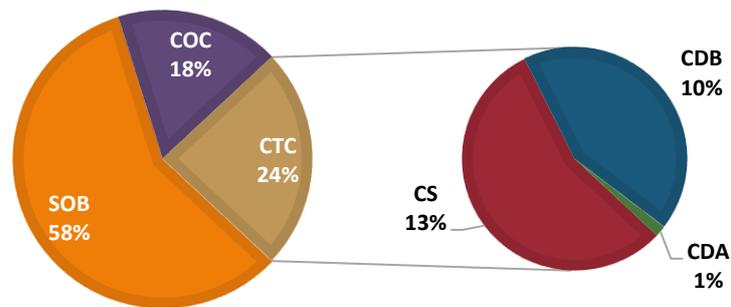


Figura 18. **Estructura de la comunidad béntica del arrecife Santiaguillo.** Se muestra la suma de los porcentajes de corales, algas y esponjas de todos los sitios de muestreo. SOB: sin ocupación biológica, COC: cobertura de organismos competidores, CTC: cobertura total de corales, CS: coral sano, CDB: coral con daño biológico, CDA: Coral con daño antrópico.

Casi un cuarto del bentos arrecifal está cubierta por corales, y corresponde al doble de la cobertura de algas, y cuatro veces más que la cobertura de esponjas. Sin embargo, el porcentaje de cobertura coralina en todo el arrecife se encuentra casi equitativo en cuanto a coral sano y coral con algún tipo de daño (Figura 19).

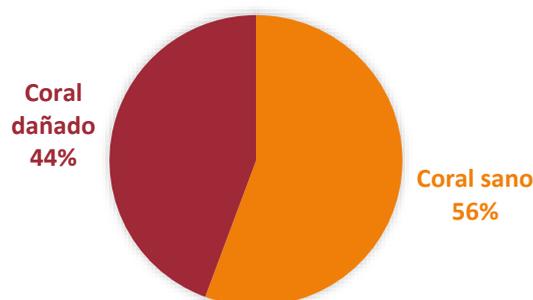


Figura 19. **Salud coralina del arrecife Santiaguillo.** Se muestra la comparación de coberturas de corales sanos y corales con algún tipo de daño.

ÍNDICES ECOLÓGICOS DE ESTRUCTURAS CORALINAS

En la Figura 20 y Tabla 7 se muestra la abundancia de estructuras coralinas presentes en cada sitio; el conteo de organismos no se diferenció por especie, si no por forma de crecimiento en Cerebro (Cer), Digitiforme (Dig), Foliar (Fol), Hidrocorales (Hid), Incrustante (Inc), Montículo (Mon), Ramificaciones Aplanadas (R-A), Ramificaciones Redondas (R-R) y Gorgonáceo (Gor) (Ver anexo II).

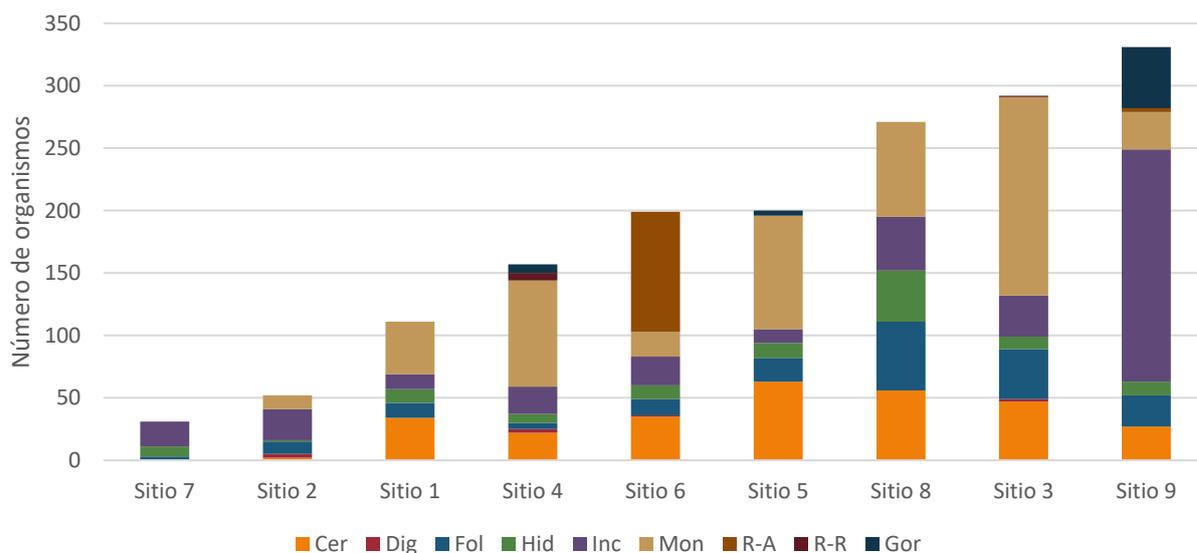


Figura 20. **Abundancia de estructuras coralinas.** Se muestra el número de organismos de cada forma coralina ordenado de manera ascendente.

Tabla 7. **Abundancia de estructuras coralinas.** Se observan los totales por sitio y por forma coralina.

Sitio	Cer	Dig	Fol	Hid	Inc	Mon	R-A	R-R	Gor	Total
1	34	0	12	11	12	42	0	0	0	111
2	2	3	10	1	25	11	0	0	0	52
3	47	2	40	10	33	159	0	1	0	292
4	22	3	5	7	22	85	0	6	7	157
5	63	0	19	12	11	91	0	0	4	200
6	35	1	13	11	23	20	96	0	0	199
7	0	0	3	8	20	0	0	0	0	31
8	56	0	55	41	43	76	0	0	0	271
9	27	0	25	11	186	30	3	0	49	331
Total	286	9	182	112	375	514	99	7	60	1644

Se contabilizó un total de 1644 estructuras coralinas, ningún sitio presentó todas las formas de coral presentes en el arrecife. El sitio 7 presenta el menor número de estructuras coralinas con 31, seguido por el sitio 2 con 52, sitio 1 con 111, sitio 4 con 157, sitio 6 con 199, sitio 5 con 200, sitio 8 con 271, sitio 3 con 292 y finalmente el sitio 9 con 331 estructuras coralinas presentes en el transecto (Figura 21).

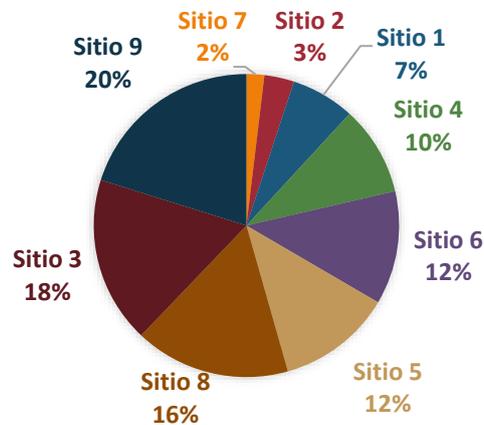


Figura 21. **Abundancia de estructuras coralinas por sitio.** Se muestra la distribución de las estructuras coralinas en los diferentes sitios del arrecife Santiaguillo.

La forma coralina con menor abundancia en los sitios de muestreo es la de Ramificaciones redondas con 7 estructuras, seguida por Digitiforme con 9, Gorgonáceo con 60, Ramificaciones aplanadas con 99, Hidrocorales con 112, Foliar con 182, Cerebro con 286, Incrustante con 375 y Montículo con 514, siendo esta última forma coralina la de mayor abundancia dentro del estudio (Figura 22).

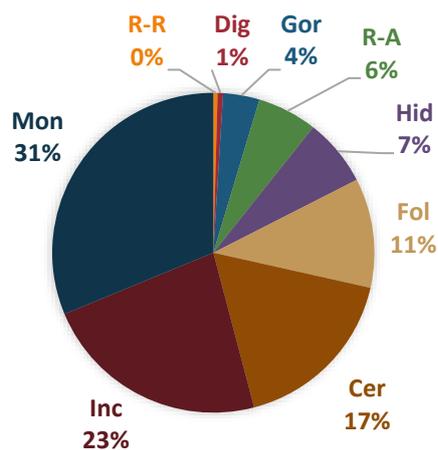


Figura 22. **Abundancia relativa de las estructuras coralinas.** Se muestra el porcentaje de estructuras coralinas totales del arrecife Santiaguillo.

La forma coralina montículo fue la más abundante en el arrecife con 31% y estuvo presente en 8 sitios de muestreo, le sigue la forma incrustante con 23% aunque estuvo presente en todos los sitios, la forma cerebro con 17% presente en 8 sitios, las formas foliar con 11% e hidrocorales con 7% también estuvieron presentes en todos los sitios, ramificaciones aplanadas con 6% presente en 2 sitios, gorgonáceo con 4% presente en 3 sitios, digitiformes con 1% presente en 4 sitios y ramificaciones redondas con menos del 1% presente en 2 sitios.

Las formas montículo, incrustante y cerebro que son las de mayor abundancia representan más del 70% de la cobertura coralina en el arrecife Santiaguillo.

En la Tabla 8 se muestra la comparación de los índices ecológicos de estructuras coralinas entre los sitios de muestreo.

Tabla 8. **Índices ecológicos de estructuras coralinas.** D0= Riqueza, D1= Exponencial de la entropía de Shannon, D2= Inverso del índice de Simpson, D2/D1= Equidad de Hill.

Sitio	D ₀	D ₁	D ₂	D ₂ /D ₁
1	5	4.220	1.370	0.324
2	6	3.911	1.466	0.374
3	7	3.717	1.550	0.417
4	8	4.349	1.513	0.347
5	6	3.865	1.475	0.381
6	7	4.495	1.417	0.315
7	3	2.359	1.969	0.834
8	5	4.874	1.266	0.259
9	7	3.974	1.561	0.392

La mayor riqueza de estructuras coralinas se encuentra en el sitio 4, seguido por los sitios 3, 6 y 9, sitios 2 y 5, sitios 1 y 8 y finalmente el sitio 7. El sitio 8 cuenta con la mayor diversidad de estructuras coralinas del arrecife, seguido por el sitio 6, sitio 4, sitio 1, sitio 9, sitio 2, sitio 5, sitio 3 y sitio 7 respectivamente.

La riqueza de estructuras coralinas muestra que los sitios en el norte de sotavento cuentan con mayor riqueza que los sitios en la parte de barlovento del arrecife; por otro lado, la diversidad de organismos no tiene relación con la ubicación de los sitios de muestreo ya que los sitios 8 y 6 que representan el 1° y 2° lugar en diversidad, se encuentran en puntos muy alejados dentro del arrecife.

La dominancia de estructuras coralinas fue mayor en el sitio 7, seguido por el sitio 9, sitio 3, sitio 4, sitio 5, sitio 2, sitio 6, sitio 1 y sitio 8. Sin embargo, el sitio 9 es el quinto lugar en diversidad y el segundo en dominancia, esto se debe a que la abundancia de corales en forma incrustante representa más del 50% del total de estructuras coralinas del sitio.

Por otro lado, el valor de equidad de Hill muestra que el sitio 8 es el que presenta mayor equidad, seguido por los sitios 6, sitio 1, sitio 4, sitio 2, sitio 5, sitio 9, sitio 3, y finalmente el sitio 7 es el que presenta la menor equidad en el arrecife.

Aunque el sitio 8 es de los que presentan una menor riqueza de estructuras coralinas, es el primero en diversidad y equidad. En sentido contrario, el sitio 4 que presenta mayor riqueza de estructuras, es el cuarto lugar en equitatividad y por lo tanto el tercer sitio en diversidad coralina.

Por el contrario, el sitio 7 es el menos diverso dentro del estudio, ya que muestra la menor riqueza, es el sitio con el valor más bajo de número de estructuras coralinas, cuenta con el valor más alto de dominancia y el valor más bajo de equitatividad. El comportamiento de los índices que se observa en la Figura 23, muestra que, cuando la riqueza aumenta o disminuye, la diversidad hace lo mismo en todos los sitios, lo cual indica una correlación entre estas variables, semejante a lo que pasa entre la dominancia y la equidad.

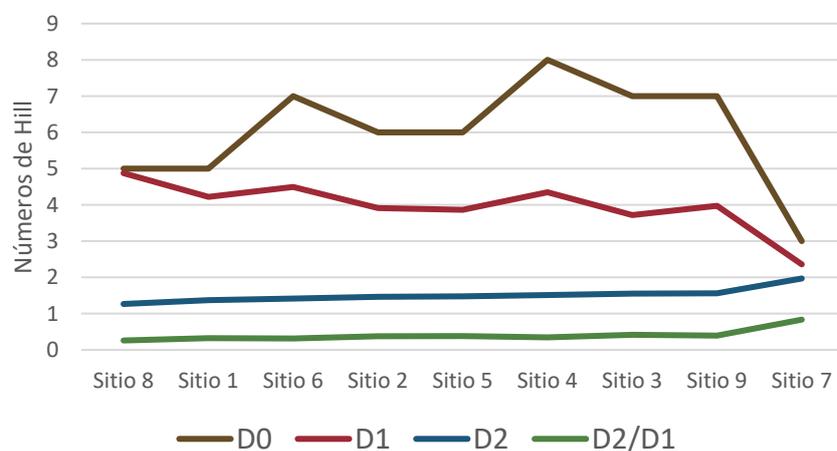


Figura 23. **Índices ecológicos por sitio.** Se observa el comportamiento de los índices en los sitios. D0= Riqueza, D1= Exponencial de la entropía de Shannon, D2= Inverso del índice de Simpson, D2/D1= Equidad de Hill.

COMPOSICIÓN MORFOLÓGICA DE ESTRUCTURAS CORALINAS

La composición morfológica se refiere a la cobertura relativa de cada forma coralina, con estos valores se obtienen los índices ecológicos y de esta manera se estima la diversidad de formas coralinas presentes en cada sitio.

La diversidad morfológica de los corales sirve como un indicador de la complejidad de hábitat, ya que el sitio puede ser rugoso por 2 factores: 1) La accidentalidad del fondo marino o 2) las diversas formas coralinas presentes en el sitio ya que, el fondo marino puede tener una estructura plana, pero si sobre él crecen corales constructores de arrecife como coral cerebro, montículo, foliar o ramificados, la complejidad de hábitat alcanzará algún grado de rugosidad.

La Tabla 9 muestra los valores de diversidad, dominancia y equidad de formas coralinas presentes en el arrecife.

Tabla 9. **Índices de la composición morfológica.** D₀= Riqueza, D₁= Exponencial de la entropía de Shannon, D₂= Inverso del índice de Simpson, D₂/D₁= Equidad de Hill.

Sitio	D ₀	D ₁	D ₂	D ₂ /D ₁
1	5	2.384	1.866	0.782
2	6	3.724	1.417	0.380
3	7	2.391	1.960	0.819
4	8	2.268	2.209	0.973
5	6	2.465	1.886	0.765
6	7	1.864	3.313	1.777
7	3	1.262	10.057	7.967
8	5	2.578	2.087	0.809
9	7	4.075	1.379	0.338

La mayor riqueza de formas coralinas la presenta el sitio 4, seguido por los sitios 6, sitio 3, sitio 9, sitio 5, sitio 2, sitio 8, sitio 1 y sitio 7. Sin embargo, la mayor diversidad de formas coralinas, y por lo tanto el sitio con mayor complejidad de hábitat gracias a la diversidad morfológica es el sitio 9, seguido por el sitio 2, sitio 8, sitio 5, sitio 3, sitio 1, sitio 4, sitio 6 y sitio 7 respectivamente. La mayor dominancia de formas coralinas se encuentra en el sitio 7, seguido del sitio 6, sitio 4, sitio 8, sitio 3, sitio 5, sitio 1, sitio 2 y finalmente el sitio 9 es el que presenta la menor dominancia de formas coralinas.

En la Figura 24 se muestra la comparación entre la diversidad morfológica de corales y la complejidad de hábitat en todos los sitios, ordenados de forma ascendente según el valor de la complejidad.

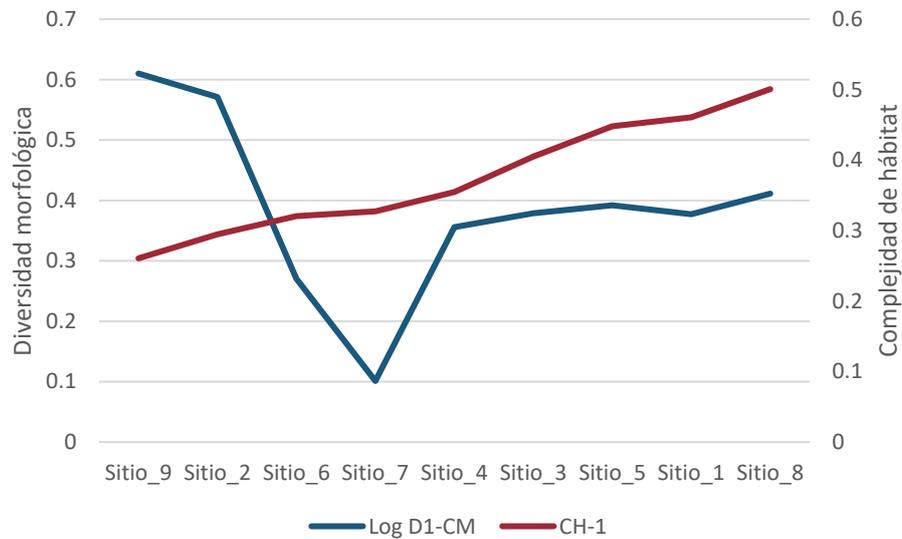


Figura 24. **Diversidad morfológica vs complejidad de hábitat.** Se calculó el inverso de la complejidad (CH-1) y el logaritmo de la diversidad (Log D1-CM).

Los sitios 9 y 2 son los que presentan una mayor de diversidad de formas, a pesar de ser los sitios con menor complejidad de hábitat, en los sitios 6 y 7 se observa una disminución de la diversidad a pesar del aumento de la complejidad.

En los sitios 4, 3, 5, 1 y 8 la diversidad tiende a aumentar conforme aumenta la complejidad de hábitat. Se detecta la influencia de la ubicación de los sitios en el comportamiento de las gráficas, ya que en los sitios de la parte norte del arrecife la tendencia es inversa y en la parte sur es directa a la relación entre la complejidad de hábitat y la diversidad de formas coralinas.

Se graficaron por separado los sitios de la parte norte y los sitios de la parte sur para hacer más visible el impacto de la ubicación en la complejidad de hábitat y en la diversidad de formas.

En la Figura 25 la diversidad de formas coralinas de la zona norte disminuye cuando la complejidad de hábitat aumenta, en sentido contrario, en la Figura 26 se muestra que en la zona sur del arrecife la diversidad morfológica de corales va aumentando conforme aumenta la complejidad de hábitat.

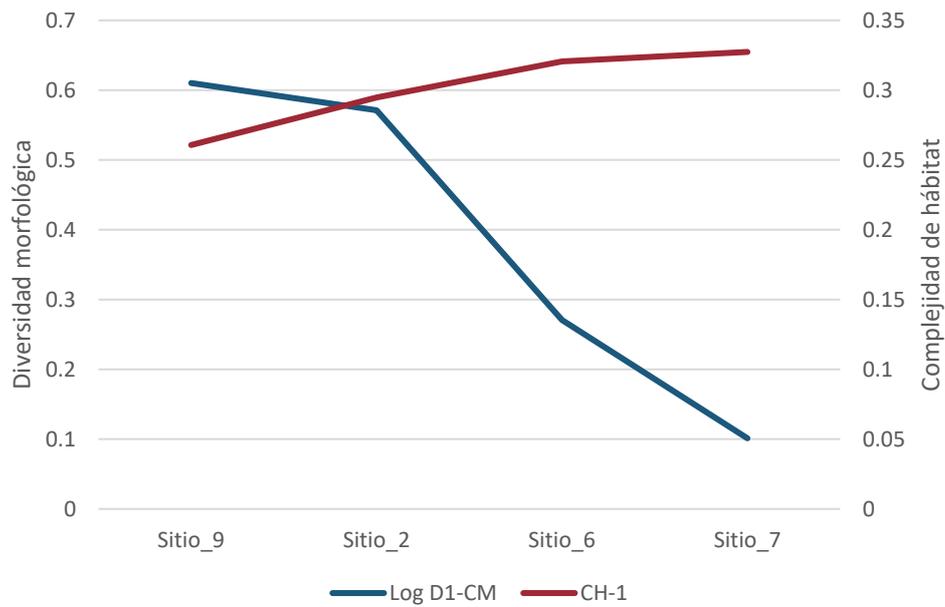


Figura 25. **Sitios de la zona norte del arrecife.** Se muestra la comparación entre el logaritmo de la diversidad morfológica (Log D1-CM) y la complejidad de hábitat (CH-1).

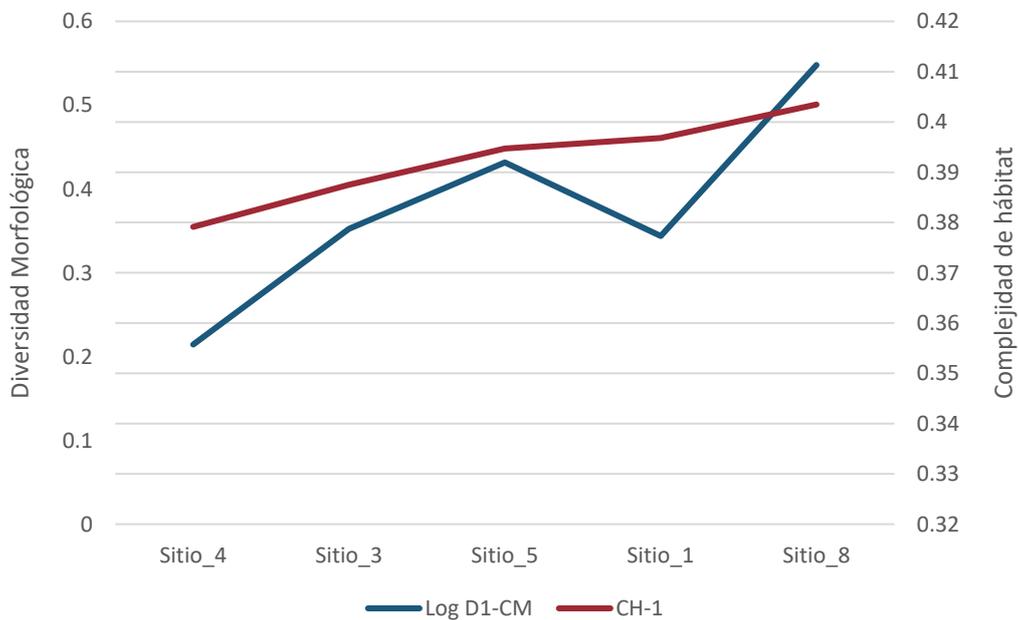


Figura 26. **Sitios de la zona sur del arrecife.** Se muestra la comparación entre el logaritmo de la diversidad morfológica (Log D1-CM) y la complejidad de hábitat (CH-1).

Similarmente se comparó la diversidad de formas con la diversidad de estructuras coralinas, en la Figura 27 se observa el comportamiento de los índices según el sitio de muestreo.

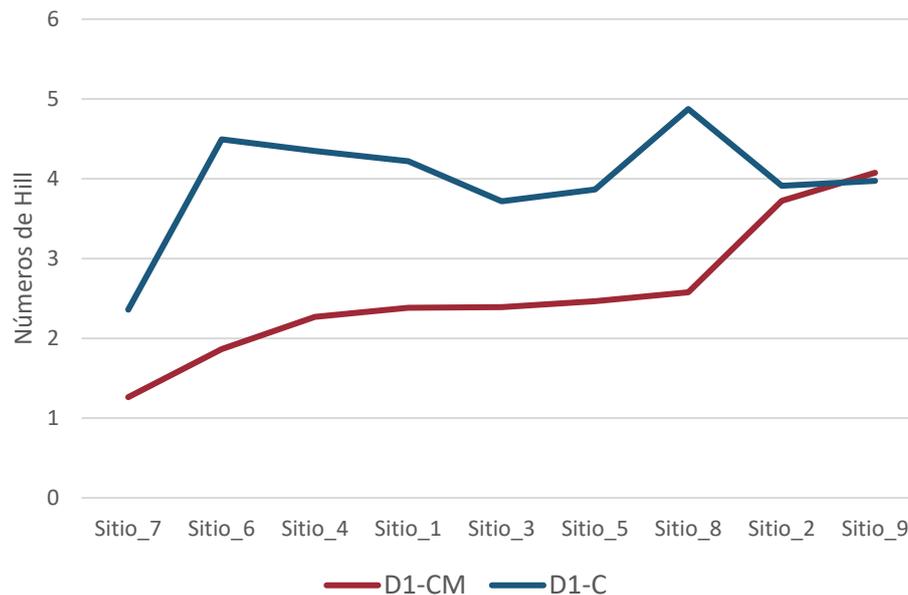


Figura 27. **Diversidad morfológica vs diversidad coralina.** Se observan los sitios ordenados de forma ascendente según el valor de diversidad morfológica (D1-CM).

Al observar el comportamiento de las diversidades en los diferentes sitios, no se reconoce relación alguna entre el número de formas coralinas y el número de estructuras, ya que, cuando la diversidad de formas aumenta en los sitios 4, 1, 3, 2 y 9, la diversidad de estructuras disminuye, por el contrario, en los sitios 7, 6, 5 y 8, la diversidad de estructuras si aumenta conforme aumenta la diversidad de formas.

El sitio 9 es el único que presenta una diversidad de formas mayor que la diversidad de estructuras, sin embargo, el sitio 2 también presenta valores muy cercanos entre diversidades a diferencia del sitio 6 que muestra la mayor diferencia entre los valores de diversidad de formas y de estructuras.

Por otro lado, el sitio 7 es el sitio con los valores más bajos tanto de diversidad de estructuras como de diversidad de formas y por lo tanto el sitio con la mayor dominancia de formas y de estructuras coralinas, ya que del 100% de sus estructuras, más del 90% pertenecen a una misma forma coralina y en el sitio hay en total 3.

RELACIÓN ENTRE COMPLEJIDAD DE HÁBITAT Y DIVERSIDAD DE ORGANISMOS

En la Figura 28 se muestra la relación entre la complejidad de hábitat y la diversidad de los organismos asociados. Para hacer más visual la relación, fue necesario calcular el inverso de la complejidad de hábitat ($1-CH$), ya que los valores más altos representaban una baja complejidad y los valores más bajos pertenecían a sitios con una mayor complejidad. Asimismo, se calculó el logaritmo de la diversidad, para coincidir las escalas de ambas variables y todos los valores entraran en el rango de 0 a 1 conservando la misma magnitud entre sitios.

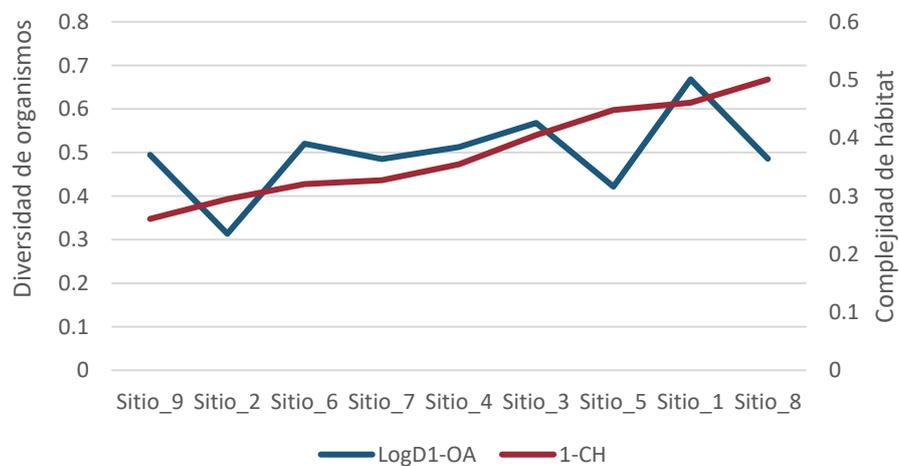


Figura 28. **Diversidad de organismos vs complejidad de hábitat.** Se muestran los sitios ordenados de forma ascendente según el valor de la CH.

En la figura anterior no se observa relación entre las dos variables, sin embargo, se pueden identificar los sitios en los que la diversidad disminuye según la complejidad que presentan. Dicho lo anterior, se pueden formar dos grupos de sitios, en el primero, la diversidad que presentan los sitios 2, 7, 5 y 8 no corresponde a la diversidad esperada según su complejidad de hábitat, y el segundo grupo que corresponde a los sitios 9, 6, 4, 3 y 1 sí presentan mayor diversidad de organismos a mayor complejidad de hábitat.

Los dos grupos de sitios se graficaron por separado para ver el comportamiento de estos según su ubicación, ya que los sitios del primero grupo que presentan la menor diversidad pertenecen a la zona de barlovento del arrecife (Figura 29) mientras que el segundo grupo de sitios con mayor diversidad pertenece a la zona de sotavento (Figura 30).

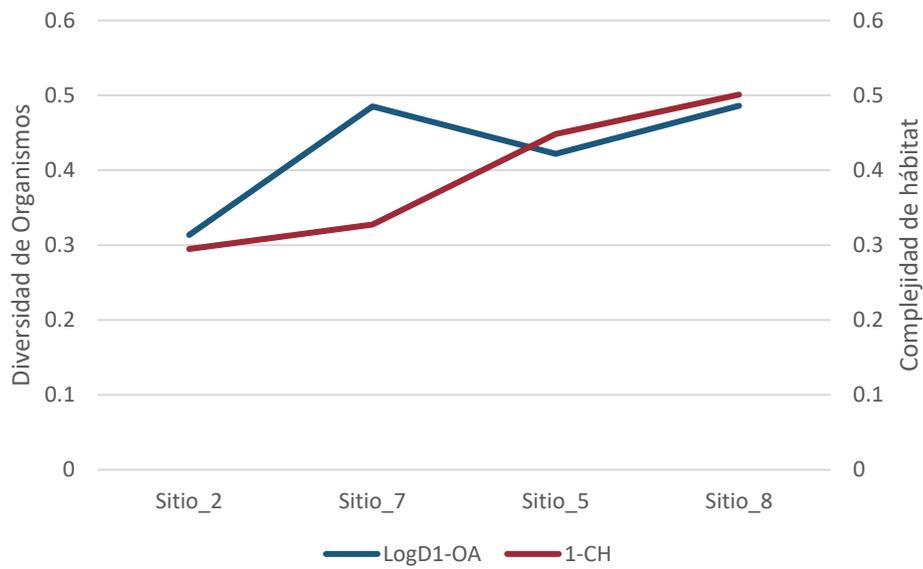


Figura 29. **Sitios de la zona de barlovento en el arrecife.** Se muestra la relación entre el logaritmo de la diversidad de organismos asociados (LogD1-OA) y la complejidad de hábitat (1-CH).

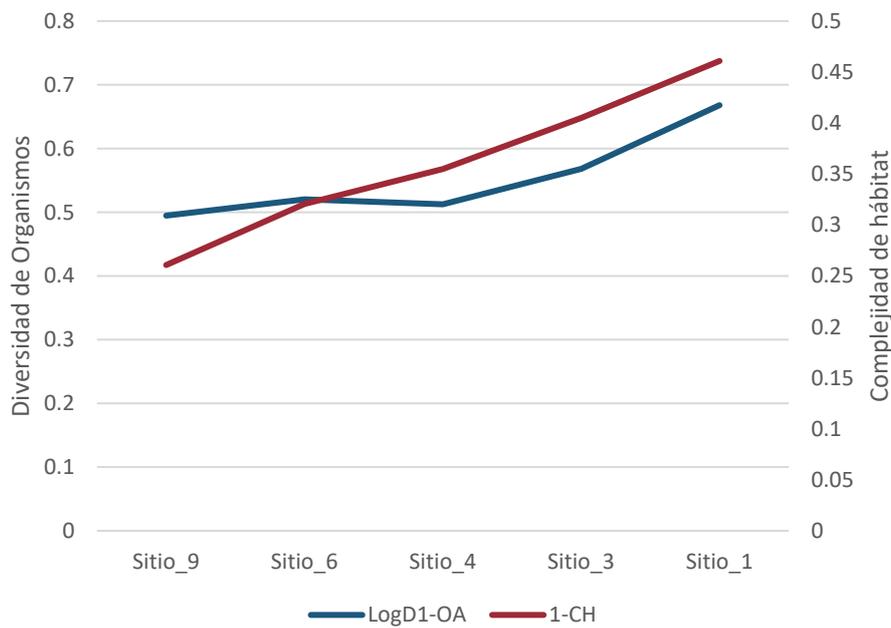


Figura 30. **Sitios de la zona de sotavento del arrecife.** Se muestra la relación entre el logaritmo de la diversidad de organismos asociados (LogD1-OA) y la complejidad de hábitat (1-CH).

Los sitios siguen ordenados en forma ascendente según la complejidad de hábitat.

De manera general el sitio 9 es el que presenta la menor complejidad de hábitat, seguido por el sitio 2, sitio 6, sitio 7, sitio 4, sitio 3, sitio 5, sitio 1 y sitio 8 con el valor más alto de complejidad (Figura 28). Aquí, no se logra apreciar la relación que existe entre la complejidad de hábitat y la diversidad de organismos, sin embargo, cuando agrupamos los sitios dependiendo de la zona del arrecife en la que se encuentren, se puede observar claramente una tendencia que indica que a mayor complejidad de hábitat le corresponde una mayor diversidad de organismos.

En la Figura 29 se observa que en la zona de barlovento del arrecife el sitio 2 es el que presenta una menor complejidad de hábitat, seguido por el sitio 7, sitio 5 y sitio 8. Aunque el sitio 8 tiene una mayor complejidad de hábitat que el sitio 7, ambos presentan casi la misma diversidad de organismos asociados.

Por otro lado, en la Figura 30 se observa que el sitio 9 es el que presenta menor complejidad de hábitat de la zona de sotavento, seguido por el sitio 6, sitio 4, sitio 3 y finalmente el sitio 1. En esta parte del arrecife se observa más claramente que cuando aumenta la complejidad de hábitat también lo hace la diversidad de organismos.

De igual forma, se detectó, que la complejidad de hábitat tiene una relación con la profundidad (Figura 31), y esta a su vez, presenta una relación con la ubicación de los sitios, ya que los sitios presentan una menor complejidad en la zona norte del arrecife que comienza a aumentar gradualmente conforme se hace la transición a los sitios de la zona sur.

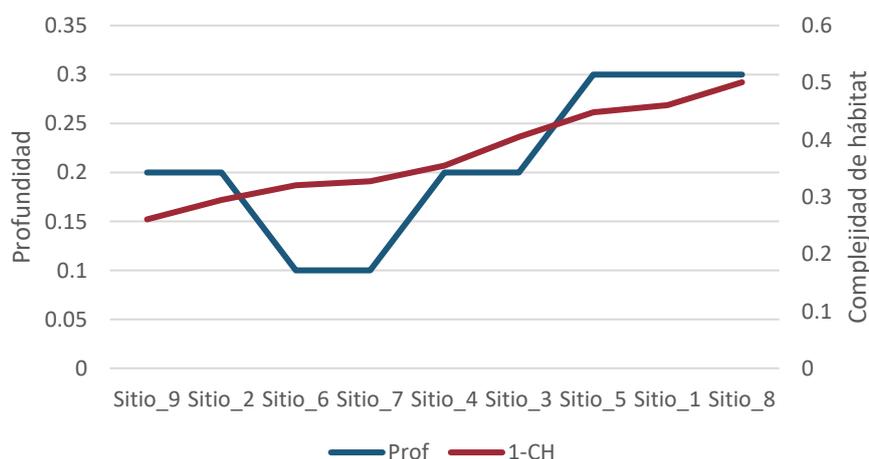


Figura 31. **Relación entre la profundidad y la complejidad de hábitat.** Se observan que a mayor complejidad de hábitat también hay mayor profundidad.

Finalmente, se graficó la relación entre la complejidad de hábitat y la diversidad de corales, ya que estos también son organismos asociados al transecto (Figura 32). De igual forma se graficó el inverso de la complejidad y el logaritmo de la diversidad para igualar escalas y magnitudes.

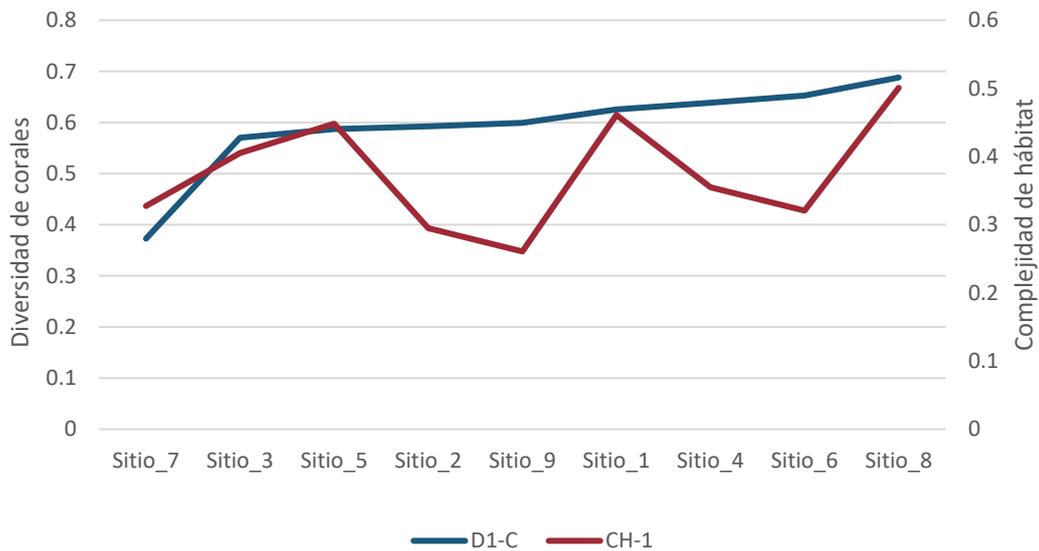


Figura 32. **Relación entre complejidad de hábitat y diversidad de corales.** Se muestran los sitios ordenados de forma ascendente según el valor de la diversidad de corales(D1-C).

Se puede observar que los sitios de la parte sur (3, 5, 1 y 8) presentan una relación directa entre la diversidad de corales y la complejidad de hábitat, ya que, cuando aumenta la complejidad también aumenta la diversidad de estructuras coralinas presentes en el arrecife.

Asimismo, se observan los sitios en los que la diversidad disminuye (7, 2, 9, 4 y 6), aunque los sitios 9 y 2 presentan una buena diversidad de corales, tienen los valores más bajos de complejidad, caso similar sucede con los sitios 4 y 6, estos también presentan una buena diversidad de corales, pero baja complejidad de hábitat.

En la Figura 33 y en la Figura 34 se observan los sitios separados según su ubicación en el arrecife. Se comprueba la relación entre la diversidad de corales y la complejidad de hábitat en la zona sur del arrecife, en sentido contrario, los sitios de la zona norte no siguen esta tendencia, ya que se observan altibajos en el valor de la diversidad cuando la complejidad aumenta.

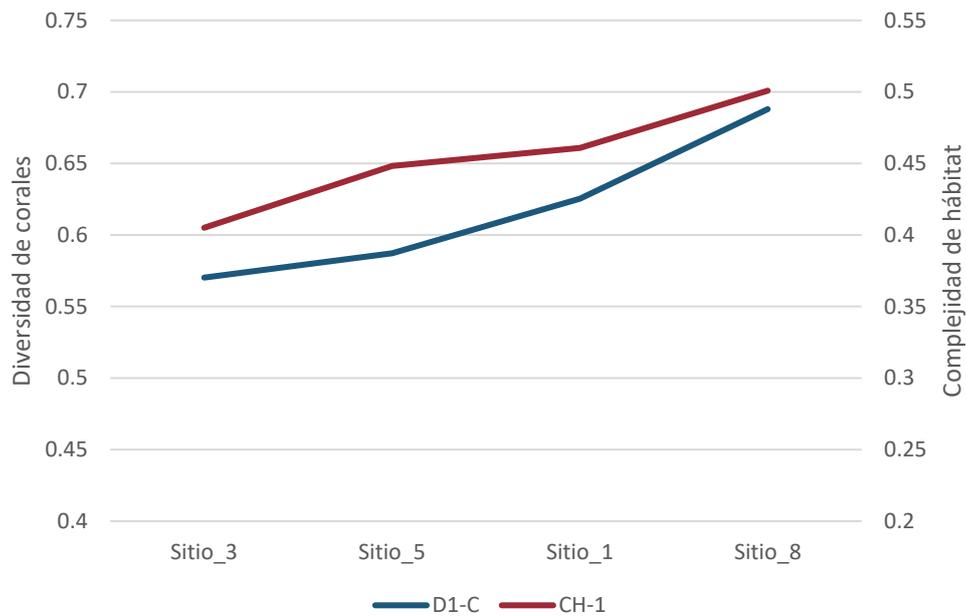


Figura 33 **Sitios de la zona sur del arrecife.** Se muestra la relación entre la diversidad de estructuras coralinas y la complejidad de hábitat.

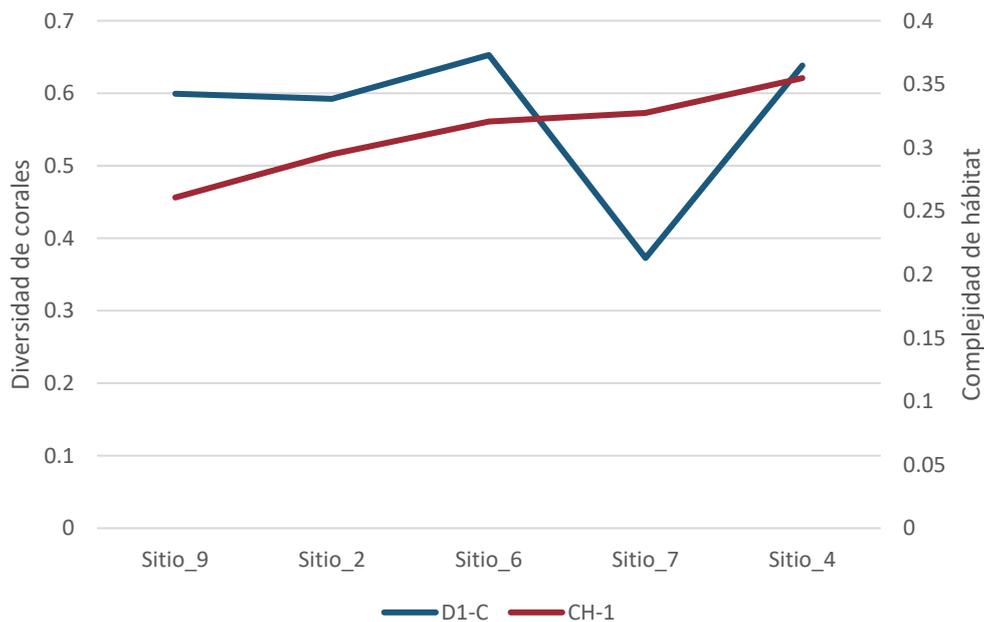


Figura 34. **Sitios de la zona norte del arrecife.** Se muestra la relación entre la diversidad de estructuras coralinas y la complejidad de hábitat.

Los sitios en ambas gráficas siguen ordenados en forma ascendente según el valor de la complejidad de hábitat.

Gracias a los coeficientes de correlación (Anexo III) fue posible identificar aquellas variables que tuvieran cierta relación en el arrecife, no obstante, se descartaron aquellas variables con correlación “obvia” como la riqueza de formas y la riqueza de estructuras coralinas.

Para reducir al máximo los coeficientes de correlación entre variables, en la Tabla 10 se muestran solo las variables que presentan relación con un valor de $P < 0.05$ descartando repeticiones y redundancias.

Tabla 10. **Variables con correlación.** Se muestran solo las variables que muestran una relación estadísticamente significativa.

Variable 1	Variable 2	Valor de P
DO-OA	Anélidos	0.0494
D1-OA	Coral Muerto	0.0254
D1-OA	Rocoso	0.0422
D1-OA	Cordados	0.0175
D2-OA	Rocoso	0.0027
D3-OA	Rocoso	0.0014
D0-C	Esponjas	0.0065
D1-C	Esponjas	0.0054
D1-C	Algas	0.0342
D2-C	Esponjas	0.0067
D2-C	Algas	0.0128
D3-C	Esponjas	0.0004
D3-C	Algas	0.0198
D0-F	Esponjas	0.0065
D1-F	Esponjas	0.0066
D2-F	Esponjas	0.0001
D3-F	Esponjas	0.0001
D0-C	Anélidos	0.0465
D1-C	Cnidarios	0.0121
D2-C	Cnidarios	0.0031
D3-C	Cnidarios	0.0064
D0-F	Anélidos	0.0465
D1-F	Anélidos	0.0468
SOB	Algas	0.0254
SOB	Rocoso	0.0077

Prof	CH	0.0232
Prof	Coral muerto	0.0307
CH	Coral muerto	0.0198
CH	Erizos	0.0409
CDB	Peces	0.0335
CDA	Moluscos	0.0496
Algas	Moluscos	0.0035
Algas	Cnidarios	0.0001
Esponjas	Cnidarios	0.0217
Coral muerto	Cordados	0.0015
Peces	Anélidos	0.0413
Moluscos	Cnidarios	0.0139
Cnidarios	Erizos	0.0321

En rojo se muestran las relaciones más significativas, gracias a esta tabla se identificaron organismos en específico que presentan relación con la complejidad de hábitat o con otras variables ambientales como la cobertura de algas y esponjas.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

A partir de este momento se tomarán 3 clasificaciones de salud arrecifal para los sitios:

✂ Saludables de 68% a 100%

✂ Alterados de 34% a 67%

✂ Dañados de 0% a 33%

El parámetro para estimar la salud estará en función del grado de impacto que presente cada variable tomando de referencia los trabajos de Durán & Alcolado, (2011), McField & Kramer, (2007) y Zamani & Madduppa (2011).

SITIOS REPRESENTATIVOS Y COMPLEJIDAD DE HÁBITAT

La ubicación de los sitios de muestreo se mantuvo distribuida de manera uniforme alrededor del arrecife abarcando desde los 5 hasta los 20 metros. Los sitios de la parte sur presentan la misma profundidad, tipo de fondo y presencia de estructuras coralinas, por lo que se decidió tomar los sitios más alejados que son los sitios 1 y 8.

Ya que los valores de la complejidad de hábitat van de 0 a 1 se pueden visualizar en porcentaje; para hacer más visible esta variable se decidió utilizar el inverso de la complejidad para que los valores más bajos representen una baja complejidad y los más altos una complejidad mayor.

El arrecife Santiaguillo tiene una complejidad de hábitat que oscila entre el 26% y el 50%, lo cual coincide con los resultados obtenidos por Pérez-España y Vargas-Hernández (2008) [2], quienes refieren valores de 0.41 en la zona de Barlovento y 0.49 para la zona de Sotavento. Sin embargo, en este trabajo se detectó que la complejidad de hábitat aumenta progresivamente de norte a sur en el arrecife y no se encontraron evidencias de que la complejidad de hábitat sea diferente entre las zonas de barlovento y sotavento. Por lo tanto, los sitios 2, 6, 7 y 9 se encuentran “dañados” mientras que los sitios 1, 3, 4, 5 y 8 se encuentran “alterados” según esta variable. Finalmente se demuestra una relación entre la profundidad y la complejidad de hábitat.

Por otro lado, el tipo de fondo es un parámetro de suma importancia en este trabajo, ya que se encontró que el porcentaje del transecto sin ocupación biológica presenta cierta relación con la complejidad de hábitat y la profundidad. Así pues, esta variable se puede tomar como un indicador inicial de salud arrecifal, pues mientras mayor sea el porcentaje de SOB, habrá menor porcentaje de cobertura coralina. Sin embargo, un porcentaje bajo de SOB no garantiza un elevado porcentaje de cobertura coralina y no se debe tomar como un valor definitivo de salud, ya que esta variable no diferencia cobertura de algas, esponjas y corales.

Dicho lo anterior, en el arrecife Santiaguillo, se estima una cobertura béntica arrecifal (corales, algas y esponjas) que puede variar del 33% al 64%, lo cual pondría al arrecife en un estado “alterado” de salud a excepción del sitio 2, el cual presenta un estado dañado con solo el 7% del área total del transecto cubierta por organismos, sin embargo, la mayoría de los sitios se encuentran dentro del rango de salud “alterado”.

En la Figura 9 se observa el aumento de la complejidad conforme aumenta la profundidad y es evidente la relación, ahora bien, los sitios 6 y 7 a pesar de tener la menor profundidad, tienen una complejidad de hábitat mayor a la esperada y los valores más bajos de SOB, en sentido contrario, el sitio 9 tiene una complejidad menor a la esperada.

El sitio 2 tiene el porcentaje más alto de SOB, por lo cual más del 90% del transecto no tiene cobertura béntica arrecifal, lo cual quiere decir que la cobertura máxima de corales esperada en ese sitio es menor al 10%, según Durán y Alcolado, (2011) una cobertura menor al 10% se considera pobre, aunado a esto, hay que restarle la cobertura de algas y esponjas lo que nos lleva a una menor cobertura coralina.

El porcentaje de área sin ocupación biológica es un parámetro inicial, el cuál puede ofrecer una idea general del estado del arrecife, puede exponer de manera inicial diferencias entre zonas y profundidades, y ayuda a tomar decisiones rápidas en cuanto a las zonas de importancia en el muestreo según el enfoque del estudio.

Sumado a esto, estos porcentajes se pueden obtener de forma rápida y confiable sin necesidad de perturbar el ambiente mediante el monitoreo no invasivo con el uso de fotografías estereoscópicas.

ÍNDICES ECOLÓGICOS DE ORGANISMOS ASOCIADOS

Los organismos estudiados en este proyecto solamente se diferenciaron por grupo taxonómico ya que la técnica de muestreo dificulta la identificación por qué no permite manipulación alguna. Sin embargo, al sacrificar exactitud taxonómica es posible cubrir una gama más amplia de criaturas, lo cual es primordial para este trabajo, ya que se necesita conocer la composición de todos los organismos asociados a los arrecifes de coral sin la necesidad de aplicar un muestreo invasivo o destructivo.

La mayoría de los organismos asociados se quedaron en grandes grupos como los erizos (equinodermos) y anémonas (cnidarios), cuyos representantes no pudieron ser identificados. Sin embargo, hubo otros a los que solamente se observó una especie, tal es el caso de los moluscos, quienes únicos representantes fueron organismos de *Elysia crispata*, lo cual fue corroborado con el trabajo de Barrera-Correa (2018) y el grupo de los otros cordados, representados por la especie *Trididemnum solidum*.

Esta última especie se comparó con las tarjetas de entrenamiento para la identificación del bentos de la AGRRA y con las guías de identificación de Humann y Deloach (2011). Esto último es importante señalarlo, ya que de acuerdo con la base de datos de Pérez-España y Vargas-Hernández (2008), no hay registro de *Trididemnum solidum* para el arrecife Santiaguillo.

El grupo de los equinodermos representado únicamente por erizos fue el más abundante dentro del arrecife, y una de las especies que se reconocieron fácilmente fue *Diadema antillarum*, por su alta presencia dentro de los sitios de muestreo, sin embargo, nuevamente Pérez-España y Vargas-Hernández (2008) señalan que no hay registro de esta especie en el arrecife. Esto se puede deber a muchos factores: 1) es posible que la comunidad de *D. antillarum* haya aumentado en 10 años, 2) es posible que el método de muestreo haya sido un factor determinante para la visualización de esta especie y 3) es posible que se trate de una especie parecida a *D. antillarum*.

Por otro lado, Duran y Alcolado, (2011) señalan que el erizo *D. antillarum* es un indicador de salud arrecifal, ellos estiman que en un arrecife saludable debe haber más de 7 ind/m² y para un arrecife alterado 1 ind/m².

La técnica de muestreo implementada en este trabajo permitió revisar 40 metros cuadrados de superficie béntica (20 metros de largo por 2 metros de ancho).

Tomando en cuenta que en un transecto de 40 m² el sitio con menor abundancia presentó 29 (>1 ind/m²) y que el sitio con mayor abundancia presentó 219 (5 ind/m²), el arrecife Santiaguillo se encuentra en un estado “alterado” de salud, sin embargo, como en el trabajo de Pérez-España y Vargas-Hernández (2008) no hubo presencia de esta especie en el arrecife, podría tratarse de una etapa de recuperación para el arrecife, ya que la población de *D. antillarum* está en aumento.

Los peces fueron el segundo grupo más abundante dentro del arrecife, sin embargo, al ser organismos con movilidad y velocidad superiores a los demás individuos que habitan el bentos y muchas veces superiores a la velocidad de las cámaras, no es posible decir a ciencia cierta que este valor sea confiable.

Esto se debe a que muchas veces los organismos salen y entran del campo de visión del sistema de cámaras a lo largo del transecto y no es posible decir si algún organismo ya fue contado en imágenes previas o es su primera aparición dentro del transecto. Sin embargo, tomando en cuenta que solo se trabajó con fotos con el mínimo de traslape, se tomó la decisión de contar a todos los peces presentes en la foto.

A pesar de lo antes señalado, muchos trabajos, ya sea mediante censos visuales, fototransectos o videotransectos, se basan en estudios sobre la comunidad íctica para inferir sobre el estado de salud de los arrecifes; Durán y Alcolado, (2011) señalan que un arrecife dañado presenta menos de 25 ind/100m² mientras que un arrecife saludable presenta más de 200 ind/100m².

Dicho lo anterior, en 40 m² un arrecife saludable debería tener más de 80 organismos, mientras que uno dañado tendría menos de 10. En el arrecife Santiaguillo el sitio con menor número de peces tuvo 23 individuos y el más abundante tuvo 165. Tomando en cuenta que solo 3 sitios tuvieron más de 80 organismos, y que ninguno tuvo menos de 10, el arrecife Santiaguillo se considera “alterado”.

Por otro lado, el trabajo de Pérez-España y Vargas-Hernández (2008) tuvo una mayor abundancia de peces, teniendo en su transecto más abundante 837 organismos, en este trabajo también se revisaron 40m² (10 X 4), sin embargo, sus valores se obtuvieron mediante censos visuales, lo cual, podría ser la diferencia entre abundancias, ya que los censos visuales dependen mucho del entrenamiento y la capacidad del buzo que realiza las identificaciones.

Los índices comúnmente utilizados en estudios de diversidad (Shannon-Wiener y Simpson), se obtienen por separado para cada grupo taxonómico. En este proyecto se trabajó con una escala diferente, tomando todos los grupos taxonómicos del arrecife Santiaguillo como especies diferentes, de esta manera se consideraron 6 “especies”: moluscos, cnidarios, anélidos, equinodermos, peces y otros cordados.

La riqueza dentro de los sitios de muestreo se representa como D_0 que es el número de especies dentro de un transecto sin considerar abundancias. Dado que el mayor número de especies posible era de 6, y que el sitio con menor riqueza presentó un valor de 4, el arrecife se considera en un estado de salud “alterado”, ya que sólo 3 sitios tuvieron 6 “especies”.

Al calcular el exponencial de Shannon-Wiener, se obtiene el valor D_1 , el cual expresa el número de especies comunes dentro del transecto, este índice mostró que los sitios de sotavento tienen una mejor diversidad que los sitios de barlovento. El valor D_2 que representa el número de especies dominantes dentro del transecto sirve para corroborar lo antes dicho por el valor D_1 , ya que mientras exista un mayor número de especies comunes, habrá un menor número de especies dominantes y el sitio con la mayor diversidad será el sitio con la menor dominancia y viceversa. Sin embargo, en la Tabla 5 y Figura 13 se muestra que el sitio 2 es el único que presenta un valor de diversidad más bajo que el valor de dominancia, esto se debe a que la presencia de equinodermos en este sitio cubre casi el 80% del total de las 4 especies presentes.

La equidad de cada sitio está representada por el número de especies dominantes entre el número de especies comunes (D_2/D_1). Este valor será mayor en los sitios con mayor dominancia de especies y menor en los sitios con mayor diversidad.

Estos índices ofrecen una visión general de varios grupos taxonómicos relacionados entre sí, gracias a esto fue posible identificar que la zona de sotavento presenta una mejor diversidad y equidad de organismos asociados en comparación con los sitios de barlovento.

Los índices de Shannon-Wiener y Simpson que expresan información de grupos taxonómicos específicos por separado excluyen al resto de los organismos y hace más difícil observar el comportamiento del arrecife como un conjunto. A diferencia de esta forma tradicional, los números de Hill calculados con todos los grupos taxonómicos son una alternativa para la visualización y el entendimiento de un mayor número de organismos dentro de un área específica.

Un ejemplo de esto es el trabajo de Pérez-España y Vargas-Hernández (2008), en el cual, de todos los organismos asociados a arrecife, sólo se presentaron datos de Riqueza, Diversidad y Equidad para peces haciendo comparaciones entre las zonas profundas y someras en cada sitio de muestreo, y como se mencionó anteriormente, al profundizar tanto en un solo grupo taxonómico se pierden de vista otros organismos que podrían aportar más datos sobre la condición de algún sitio.

El presente trabajo no se puede comparar con algún otro proyecto realizado para Santiaguillo o el PNSAV, ya sea por la técnica de muestreo o por la escala a la que se trabajaron los organismos estudiados, sin embargo, el trabajo de Vicencio (2013) en el arrecife Lobos del PNSAV, sirve como punto de partida, ya que, al igual que este trabajo, se estudiaron varios grupos de organismos asociados a arrecife como los cnidarios, moluscos, equinodermos, peces, poliquetos y crustáceos.

No obstante, en el presente proyecto la prioridad fue el monitoreo no invasivo; a diferencia de Vicencio (2013) donde los grupos estudiados si fueron trabajados individualmente y se identificaron taxonómicamente todos los organismos encontrados, en este punto comienzan las diferencias, ya que, para la identificación de algunos organismos como las esponjas, fue necesario realizar cortes y/o manipular los organismos. Esta técnica además de resultar invasiva y posiblemente dañina para los organismos requiere de mucho más tiempo de análisis para llegar a un buen nivel taxonómico de identificación.

En resumen, el trabajo de Vicencio (2013) al igual que el presente proyecto, cubren una mayor gama de organismos en comparación con otros trabajos, sin embargo, la mayor diferencia entre estos dos trabajos es el nivel de profundidad al que se llegó gracias a la técnica de muestreo. En ambos se estudió la comunidad de organismos asociados a arrecife, corales, algas y esponjas. Se realizaron comparaciones entre sitios y profundidades usando los índices de diversidad y abundancia. Sin embargo, Vicencio (2013) realizó dos tipos de muestreo: para la cobertura de corales, algas y esponjas, realizó cuadrantes de 1m²; mientras que para los organismos asociados realizó censos visuales de 20 m².

Considerando lo anterior, ambos proyectos pretender ofrecer la mayor información posible de los organismos del arrecife, sin embargo, el presente proyecto no es invasivo, puede ofrecer la misma información con un solo tipo de muestreo y de así desearlo, se puede profundizar más sobre la identificación taxonómica de los organismos, ya que se cuenta con el respaldo de la información en fotografías.

COBERTURA CORALINA

El porcentaje de transecto sin ocupación biológica (SOB) como se mencionó anteriormente es un parámetro inicial de la comunidad coralina, ya que es inversamente proporcional a la cobertura béntica arrecifal (CBA). Este último parámetro corresponde al área del transecto ocupada por algún organismo sésil, ya sea, coral, alga o esponja.

Dentro de los porcentajes de CBA se encuentran las coberturas de coral sano y coral con algún tipo de daño ya sea biológico o antrópico. Los corales, al igual que los organismos asociados a arrecifes, no fueron identificados taxonómicamente, si no clasificados por su morfología basándose en los trabajos de Luckhurst y Luckhurst (1978); Edinger y Risk (2000) y Zamani y Madduppa (2011). La cobertura de algas y esponjas no se diferenció ni clasificó de ninguna manera.

Los sitios con mayor porcentaje de CBA no son siempre los más sanos, ya que este porcentaje incluye organismos competidores para los corales. Por otro lado, el CBA no presenta relación con la ubicación de los sitios, ya que el sitio con el mayor porcentaje se encuentra relativamente cerca del sitio con el menor porcentaje. Si se basara el análisis en esta variable, la mayoría de los sitios entran en el rango de “alterados”, sin embargo, al separar los corales de las algas y esponjas esto cambia totalmente.

La cobertura total de corales en el arrecife Santiaguillo fue del 24%, lo cual se asemeja con lo reportado por algunos autores y de la misma forma presenta discrepancia con algunos otros que estudiaron la zona. Pérez-España, *et al* (2015) reporta coberturas de 37.4% para zonas profundas y 19.4% para zonas someras mientras que Espinosa-Mendoza (2015) refiere una cobertura coralina del 10% en todo el arrecife. Esta diferencia tan grande presentada en el mismo año puede deberse al método de muestreo, ya que, aunque en ambos trabajos se utilizaron fotografías, Pérez-España *et al.*, (2015) utilizó un Software que genera puntos aleatorios dentro de la foto, mientras que Espinosa-Mendoza (2015) realizó el conteo de píxeles de cada organismo.

Por otro lado, Jones *et al.*, (2008) reportan 12.8% mientras que Pérez-España y Vargas-Hernández (2008) reportan una cobertura del 47%, ambos utilizaron el método de puntos aleatorios, sin embargo, esta diferencia tan grande puede deberse a que el primero utilizó 144 puntos y el segundo 1000.

Asimismo, aunque el presente trabajo utilizó el mismo método empleado por Espinosa-Mendoza (2015), los resultados indican que hubo un incremento del 14% en la cobertura coralina en un lapso de 2 años, esta diferencia probablemente sea resultado del número de sitios evaluados (9 vs 21).

La cobertura total de corales en el arrecife va desde menos del 1% en los sitios 1 y 2 hasta más del 50% en el sitio 6. Durán y Alcolado, (2011) señalan que un arrecife muy saludable presenta más del 40% de cobertura de coral vivo y un sitio con salud crítica presenta menos del 5%. Sin embargo, la mayoría de los sitios entran en la escala de “Dañados” propuesta en este trabajo, 2 sitios presentan menos del 5% y sólo un sitio se encuentra en un estado saludable con más del 50% del transecto cubierto por corales vivos.

No obstante, como se mencionó en el punto anterior, la cobertura total del arrecife es del 24% y según la escala de Duran y Alcolado, (2011) se podría considerar en un buen estado de salud, sin embargo, en la escala planteada por este trabajo se considera dañado. La diferencia entre las dos escalas es que Duran y Alcolado (2011) toman como la mayor cobertura el 40%, y en este trabajo se decidió ampliarlo hasta el 100% ya que otros autores como Zamani y Madduppa (2011) proponen diferentes criterios de salud según la ubicación del arrecife. En el caso de la cobertura de coral, un arrecife saludable presenta <30% en arrecifes estuarinos, >50% en costeros y <70% en pequeñas islas fuera del estuario, por lo que, según este criterio el arrecife se encuentra en un estado crítico de salud según la cobertura total de corales.

Ahora bien, la cobertura total de corales es un parámetro inicial pero engañoso, ya que se puede pensar que los sitios con mayor cobertura son los sitios más sanos, sin embargo, al tener una mayor cobertura coralina es más probable que exista mayor incidencia en el número de corales con daño biológico o antrópico.

Para solucionar lo antes mencionado, es necesario observar las coberturas coralinas relativas de cada sitio, con el fin de evaluar la salud de la comunidad coralina.

Precisamente al comparar la Figura 15 con la Figura 16 se observa que los sitios con mayor cobertura total de corales son los sitios con el mayor porcentaje de corales afectados por algún tipo de daño, siendo frecuentemente superior el porcentaje de corales dañados que de corales sanos. En sentido contrario, los sitios que presentaron menor cobertura coralina son los sitios con la menor incidencia de daño, teniendo más del 90% de corales sanos y sólo presentaron daño biológico.

Del 24% de cobertura coralina, sólo el 13% pertenece a coral sano, y el 11% restante a coral con algún tipo de daño, esto muestra que además del incremento del 14% en cobertura coralina, hay un incremento del 10% en cobertura de coral dañado, ya que, Espinosa-Mendoza (2015) reporta una cobertura del 1% de tejido coralino dañado. Por lo tanto, en 2015 a pesar de tener menor CCT, sólo el 10% de los corales presentaron algún tipo de daño, mientras que en el 2017 pese a incrementar la CCT, casi la mitad del tejido coralino presentó algún tipo de daño (44%).

Dicho lo anterior y tomando en cuenta la escala de Durán y Alcolado, (2011) quienes mencionan que en un arrecife saludable la cobertura de enfermedades debe ser <2% mientras que un arrecife dañado es >16%, la salud coralina dentro del arrecife se considera dañada, ya que el 11% de daño corresponde a casi la mitad de la población.

Los tipos de daño se diferenciaron solamente en biológicos (enfermedades o ramoneo) y antrópicos (fragmentación o ruptura) y los organismos competidores se evaluaron aparte. El tipo de daño en menor proporción fue el daño antrópico, a diferencia de Espinosa-Mendoza (2015) quien identificó todos los tipos de daño por separado y encontró que este tipo de daño fue el segundo con mayor incidencia. Por otro lado, Pérez-España y Vargas-Hernández (2008) indican que el arrecife con mayor número de colonias afectadas dentro del PNSAV fue Santiaguillo, aunque no proporcionan porcentajes totales.

La cobertura de algas y de coral sano fue casi la misma (12% y 13%), mientras que la cobertura de esponjas fue de 6%. Para Durán y Alcolado, (2011), un arrecife saludable debe tener >10% de macroalgas y >5% de algas calcáreas y no tiene escala para las esponjas, mientras que para Zamani y Madduppa (2011) un arrecife saludable debe tener >25% de algas y tampoco presenta escala para esponjas. Por lo tanto, gracias a las coberturas de algas y esponjas en el arrecife se puede considerar afectado.

Asimismo, Espinosa-Mendoza (2015) no calcula la cobertura total de algas y esponjas presentes, si no que registra una cobertura relativa de 7% de tejido coralino dañado por algas y un 1% dañado por esponjas. Sin embargo, Jones, *et al.*, (2008) reportan una cobertura de algas de hasta 57% para el arrecife. La diferencia entre estos trabajos se basa en que los objetivos del primero se enfocaron en afectaciones directas al coral, mientras que el segundo se centró en la caracterización de la comunidad béntica, no obstante, ninguno de los dos menciona la cobertura total de esponjas.

A diferencia de lo dicho en el punto anterior, el presente trabajó se centró en la caracterización de todos los organismos posibles, ya que, aunque no estén afectando directamente al coral, las comunidades de esponjas y algas tienden a crecer más rápido que los corales, y en un futuro podrían llegar a afectarlos.

ÍNDICES ECOLÓGICOS DE ESTRUCTURAS CORALINAS

Además de la cobertura coralina, la diversidad de corales es otro parámetro para evaluar la salud arrecifal, ya que como vimos anteriormente, una alta cobertura no necesariamente refleja una buena salud, de igual manera, una alta cobertura, así como una buena salud no necesariamente reflejan una buena diversidad, ya que puede haber sitios con alta cobertura y buena salud, pero pertenecientes a una sola especie.

La abundancia de estructuras coralinas estuvo dominada por 3 sitios, los cuales presentaron más del 50% del total, sin embargo, se demuestra que no hay relación entre la ubicación y la abundancia, ya que el primer lugar en abundancia se encontró en la parte norte, el segundo en la zona de sotavento y el tercero en la zona sur de barlovento.

El 71% del total de las estructuras coralinas estuvo dividida en 3 formas de crecimiento diferente, la forma montículo con el 31% estuvo presente en 8 de los 9 sitios, la forma incrustante a pesar de estar presente en todos los sitios tuvo el 23% y la forma cerebro con 17% estuvo presente en 8 de los 9 sitios.

Recientes trabajos enfocados en la comunidad coralina del arrecife Santiaguillo señalan que la especie más abundante dentro de la zona es *Porites asteroides*, sin embargo, a pesar de utilizar el mismo método de muestreo, los porcentajes para esta especie varían desde el 78% para García-Rivero (2013), 26% para Ortiz-Cano (2014) y 33.8% para Espinosa-Mendoza (2015). Esta especie presenta crecimiento en forma de montículo por lo que también se encuentra entre las más abundantes dentro del presente estudio.

De igual manera, otras formas de crecimiento como ramificaciones redondas que son exclusivas de la especie *Acropora cervicornis* presentan similitudes de acuerdo con lo reportado por los autores del punto anterior; García-Rivero (2013) reportó 6.7%, Ortiz-Cano (2014) reportó menos del 2% mientras que Espinosa-Mendoza (2015) reportó 0.3% de abundancia para esta especie.

Asimismo, la forma de crecimiento en ramificaciones aplanadas es única para la especie *Acropora palmata* que se encontró con 6% de abundancia para el arrecife. Sin embargo, para esta especie si hubo diferencias con los otros autores, ya que García-Rivero (2013) no tuvo registro de esta especie, Ortiz-Cano (2014) reporto menos del 1% semejante a Espinosa-Mendoza (2015) quien reportó 0.9%. Esta especie se encontró solamente en 2 sitios, y en uno de ellos sólo hubo 3 estructuras, además la cercanía entre los sitios que presentaron esta especie sugiere que la comunidad de *A. palmata* podría estar en aumento en la parte norte del arrecife.

La abundancia de las otras formas de crecimiento más abundantes como incrustantes y cerebro que engloban a un mayor número de especies con esas formas de crecimiento se pueden relacionar con los trabajos de los autores citados anteriormente, quienes si identificaron taxonómicamente a los organismos. Sin embargo, las abundancias de estos autores no coinciden entre sí ni en el porcentaje, ni en el orden de las especies, por lo que no es posible hacer una comparación más profunda. Estas diferencias entre los cuatro trabajos se pueden atribuir a la ubicación de los sitios, ya que, aunque se utilizó el mismo método para la obtención de las fotografías y para el cálculo de coberturas; los valores y las presencias de las especies varían considerablemente entre trabajos, ya que el número de transectos, la ubicación exacta de los sitios, la orientación y la profundidad son variables que no se consideraron igualar en la planeación de los proyectos.

Otros autores como Pérez-España y Vargas Hernandez (2008) aseguran que la comunidad coralina es mayor en zonas profundas del arrecife que en zonas someras, esto resulta parcialmente cierto, ya que el sitio con menor abundancia de corales se encuentra a una profundidad de 5-10 metros, sin embargo, el sitio 1 que es uno de los sitios a mayor profundidad (15-20 metros) presenta una menor abundancia que el sitio 6 que está en los 5-10 metros.

La abundancia de estructuras coralinas no ha sido utilizada como un indicador de salud arrecifal, sin embargo, en este proyecto se demuestra que el estudio de la comunidad coralina por forma de crecimiento, arroja resultados similares a los obtenidos por medio de una identificación taxonómica, siguiendo este concepto, la abundancia de estructuras coralinas demuestra que el arrecife se encuentra en un estado de salud afectado, ya que el 50% de la comunidad coralina se encuentra asentada sobre 3 sitios alejados geográficamente, por lo que, si uno de estos sitios se ve afectado en algún momento, la comunidad coralina sufriría una disminución general en todo el arrecife y no sólo en esa zona.

Además de la abundancia, la riqueza de estructuras coralinas puede señalar con más detalle aquellas zonas de importancia para el arrecife. Ya que se contemplaron 9 formas de crecimiento, la mayor riqueza posible para el arrecife es de 9, sin embargo, ningún sitio tuvo todas las formas coralinas presentes.

La riqueza de estructuras coralinas muestra que los sitios de sotavento presentan una mayor riqueza que los sitios de barlovento, sin embargo, esta relación se debe principalmente a la profundidad, ya que los sitios con mayor riqueza se encuentran en la zona somera (5-15m) y los sitios con menor riqueza se encuentran en la zona profunda (15-20m); el sitio 7 a pesar de ser somero presenta el valor más bajo de riqueza dentro de todo el arrecife ya que solo cuenta con 3 formas de crecimiento.

Los valores del presente proyecto no se pueden comparar numéricamente con otros trabajos realizados para el arrecife Santiaguillo, ya que no se utilizaron los índices comúnmente empleados de Margalef para la riqueza y Shannon-Wiener para la diversidad. Sin embargo, las magnitudes se pueden comparar con lo reportado por algunos autores, mientras que Pérez-España y Vargas-Hernández (2008) mencionan que en la zona profunda de Santiaguillo hay una mayor riqueza en comparación con la zona somera, García-Rivero (2013) reporta mayor riqueza de especies coralinas en la zona somera que en la zona profunda, a su vez, Pérez-España *et al* (2015) menciona valores iguales en cuanto a la riqueza de especies de la zona somera y la zona profunda.

Finalmente, la riqueza de estructuras coralinas dentro del arrecife muestra que está afectado, ya que ningún sitio presentó todas las estructuras planteadas para el estudio. Sin embargo, un sitio con mucha riqueza no necesariamente es más saludable que un sitio con poca riqueza ya que no se contempla la proporción de las estructuras, y mientras más equitativa sea esta proporción, el sitio será más saludable.

La dominancia de estructuras ayuda a conocer estas proporciones, un ejemplo de esto es el sitio 4, el cuál presenta la mayor riqueza, pero es el cuarto lugar en dominancia, ya que más de la mitad de sus estructuras pertenecen a una forma de crecimiento, gracias a esto es el tercer lugar en diversidad de organismos.

La diversidad de estructuras dentro del arrecife no presenta diferencias entre zonas o profundidades, no obstante, se relaciona con el comportamiento de la riqueza dentro de los sitios lo cual sugiere que la diversidad coralina está igualmente distribuida dentro del arrecife Santiaguillo.

La diversidad de corales del arrecife Santiaguillo ha sido evaluada anteriormente, y aunque en este proyecto no se encontraron diferencias entre zonas, otros autores demostraron que las zonas someras presentan mayor diversidad que las zonas profundas (Pérez-España y Vargas-Hernández 2008; García-Rivero 2013).

Por otro lado, Jones *et al.*, (2008) mencionan que la diversidad de corales en los arrecifes de Veracruz ha ido en decaimiento gracias al aumento en la comunidad algal, ya que colonizan el espacio habitable para los corales, asimismo, la población de *D. antillarum* es otro factor del descenso en la diversidad coralina.

Dicho lo anterior, se demuestra que los sitios con mayor y menor diversidad coralina (sitio 8 y 7 respectivamente) son los sitios que también presentan la mayor y la menor cobertura de algas. En otras palabras, la diversidad de estructuras coralinas presenta una relación estadísticamente significativa con la cobertura de algas ($P < 0.05$) ya que, el sitio 8 que presenta el valor más bajo de cobertura algal con 0.2% es el sitio con una mayor diversidad de estructuras coralinas; mientras que el sitio 7 que presenta el valor más alto de cobertura algal con 37.4% es el sitio con la menor diversidad de estructuras coralinas dentro del arrecife.

Por lo que se refiere a la población de *D. antillarum*, como se observó anteriormente según lo reportado por otros autores y por lo reportado en este trabajo, esta especie probablemente esté en aumento en el parque por lo que sugiere una disminución en la colonización del espacio disponible por la comunidad algal permitiendo la extensión de la comunidad coralina.

COMPOSICIÓN MORFOLÓGICA DE ESTRUCTURAS CORALINAS

La forma de los corales es una clasificación utilizada por algunos autores como un indicador de complejidad de hábitat, ya que un coral racimoso o en forma de montículo no ofrece la misma protección que un coral incrustante y así las formas coralinas presentes en un sitio ofrecen un panorama general de la complejidad de hábitat.

En este punto se entenderá como complejidad estructural a la variación de la topografía por acción de las formas coralinas y se diferencia de la complejidad de hábitat ya que esta se refiere principalmente a la geología del fondo marino. Sin embargo, las dos definiciones hacen referencia a los posibles refugios que otros organismos pueden utilizar.

Ya que se plantearon 9 formas coralinas, la mayor riqueza posible era de 9, sin embargo, ningún sitio tuvo las 9 formas presentes dentro del transecto, pero como sólo 1 sitio tuvo menos de la mitad de las formas el arrecife se considera con una buena salud en cuanto a la composición morfológica.

No obstante, como se pudo observar anteriormente, una mayor riqueza no necesariamente refleja una buena diversidad, y en este punto, se plantea que la mayor diversidad de formas coralinas refleja una mayor complejidad estructural.

Ahora bien, la complejidad estructural difirió notablemente de la complejidad de hábitat, ya que el sitio 9 es el que presenta mayor diversidad de formas y por lo tanto una mayor complejidad estructural, pero es el sitio con la menor complejidad de hábitat. Por otro lado, el sitio 8 situado en el tercer lugar de complejidad estructural es el sitio con la mayor complejidad de hábitat.

Esto se explica rápidamente al revisar la abundancia de estructuras coralinas por sitio (Tabla 7) en donde se observa que el sitio 9 a pesar de tener la mayor diversidad de corales, más de la mitad de los individuos no forman grandes estructuras (íncrustantes y gorgonáceos). Mientras tanto, el sitio 8 presenta mayor número de corales constructores de arrecife que de corales íncrustantes.

Dicho lo anterior, una mayor diversidad de formas coralinas no necesariamente se relaciona con una mayor complejidad de hábitat, más bien es la dominancia de corales constructores en cada sitio lo que podría usarse como un indicador de complejidad estructural y ésta última si tendría relación con la complejidad de hábitat.

Finalmente, al observar el comportamiento de la complejidad estructural ante la complejidad de hábitat se encontró que en los sitios de la parte norte había una mayor diversidad de formas cuando había una menor complejidad de hábitat. Y que, en los sitios de la parte sur, ambas complejidades aumentaban paralelamente.

Las formas coralinas determinan la complejidad, en los sitios con alta complejidad estructural predominan los corales cerebro y montículo, mientras que en sitios con baja complejidad predominan los corales íncrustantes.

Es por esto por lo que en los sitios de la parte norte (Figura 25) la relación entre la complejidad estructural y la complejidad de hábitat es inversa, ya que se encuentran los sitios con el mayor número de corales que no forman grandes estructuras y los sitios con menor número de corales constructores.

Mientras tanto, en los sitios de la parte sur, la tendencia continúa ya que se encuentran los sitios con el mayor número de corales constructores y el menor número de corales que no forman grandes estructuras.

La comparación entre diversidad de formas y diversidad de estructuras se relaciona con todo lo mencionado anteriormente, ambas diversidades ponen al sitio 7 como el más afectado al tener los valores más bajos en todas las variables estudiadas, por el contrario, el sitio 8, además de tener la mayor complejidad de hábitat es también el sitio con la mayor diversidad de corales y dado que en el punto anterior se demostró que los sitios 9 y 2 presentan mayor diversidad pero no significa que tengan la mayor complejidad estructural, al eliminar estos sitios de la Figura 27, el sitio 8 también es el sitio con la mayor complejidad estructural dentro del arrecife.

Hasta este punto se ha demostrado que la complejidad topográfica de un arrecife puede ser evaluado de distintas formas, puede ser definido según la unidad que se utilice, y puede ser interpretado basándose en diferentes criterios.

Ya sea calculada a través del número de estructuras, número de formas o dominancia de cierto tipo de corales, la complejidad del fondo arrecifal es un parámetro fundamental para conocer la salud del ecosistema, una buena complejidad asegura que los organismos asociados a arrecife tienen lugares para refugiarse y reproducirse.

Definitivamente, la complejidad de hábitat evaluada en este estudio bajo el enfoque del monitoreo no invasivo es un método útil, efectivo, rápido, confiable, repetible, cuantificable y comprobable, y a diferencia de los distintos métodos usados más frecuentemente como el método de la cadena, es un método que se puede estandarizar y que minimizaría el rango de error, ya que la ubicación de la cadena depende de la colocación del censador, y éste puede voluntaria o involuntariamente, exagerar o minimizar crestas y valles del sistema, a diferencia del método de pares estereoscópicos, donde la misma toma se utiliza para cuantificar y evaluar todas las variables del estudio, y por lo tanto todos los resultados están en función del total de metros cuadrados fotografiados bajo el mismo muestreo y no de distintos muestreos con diferentes medidas en metros cuadrados y tiempo de exposición.

Ya se mencionó anteriormente que al sacrificar exactitud taxonómica se puede ganar en número de variables analizadas y bajo el principio del monitoreo no invasivo, el sistema de visión estereoscópica es una herramienta que brinda muchas más posibilidades con menos esfuerzo y menos impacto al ecosistema.

RELACIÓN ENTRE COMPLEJIDAD DE HÁBITAT Y DIVERSIDAD DE ORGANISMOS

Para responder la pregunta inicial del proyecto, y evaluar la salud arrecifal mediante la relación entre la complejidad de hábitat y la diversidad de los organismos asociados a arrecife se realizó una gráfica de la relación entre estas dos variables, a primera instancia no se observó una tendencia clara del comportamiento de esta relación (Figura 28), sin embargo, al analizar por separado los sitios donde la diversidad tendía a subir y bajar se notó que la tendencia existe, sin embargo, el factor principal es la ubicación de los sitios.

La zona de barlovento cuenta con el sitio más complejo y con el segundo sitio con menor complejidad de hábitat, sin embargo, los sitios 2 y 7, a pesar de tener una baja complejidad de hábitat presentan la relación esperada, no obstante, la complejidad de hábitat no es muy diferente entre estos sitios, pero la diferencia entre diversidades es notable, lo que hace suponer que el sitio 2 está muy afectado.

En sentido contrario, los sitios 5 y 8 que presentan mayor complejidad, presentan una diversidad de organismos por debajo de lo esperado, lo que hace suponer que, al estar más expuestos al embate de las olas, los organismos no pueden colonizar estos lugares, además estos sitios presentan los porcentajes más bajos de cobertura béntica arrecifal, lo que quiere decir que la mayor parte de la zona de barlovento está sin ocupación biológica, lo que repercute directamente con el número y la variedad de organismos presentes.

Así mismo, es necesario mencionar que los sitios 7, 5 y 8 son los que presentan el mayor porcentaje de cobertura de esponjas, y ya que las esponjas son organismos competidores para los corales, probablemente la presencia de esponjas este diezmando la comunidad coralina, y esta a su vez a los organismos presentes.

La zona de barlovento se considera como afectada ya que los sitios con menor complejidad presentan casi la misma diversidad y hasta más que los sitios con una mayor complejidad de hábitat.

El sitio 7 a diferencia del sitio 2, que juntos son los más afectados en relación con todas las variables presentes en este estudio, parece estar en una etapa de transición de un estado afectado a un estado más saludable, ya que presenta una mejor complejidad de hábitat, y una mayor diversidad de organismos asociados, y aunque presenta los valores más bajos de cobertura coralina, más del 95% son corales sanos.

Por otro lado, la zona de sotavento presenta los sitios con el valor más bajo y el segundo valor más alto de complejidad de hábitat, sin embargo, estos sitios de la zona de sotavento son los primeros cinco lugares en diversidad de organismos asociados lo cual, como se puede comprobar en la Figura 30, indica que cuando la complejidad de hábitat aumenta también lo hace la diversidad de organismos con diferente intensidad.

A diferencia de la zona de barlovento, sotavento presenta una mejor diversidad, y esto se atribuye a la protección que ofrece el arrecife al fuerte embate de las olas. Sin embargo, en el sitio 4 disminuye un poco la diversidad de organismos en comparación con el sitio 6, esto se debe a que el sitio 6 es el que presenta la mayor cobertura total de corales y a su vez presenta mayor diversidad de estructuras coralinas que el sitio 4.

Hasta este momento, la zona de sotavento se considera la parte “sana” del arrecife, sin embargo, es necesario hacer hincapié en el sitio 1, ya que es el segundo sitio más complejo, es el primer lugar en diversidad de organismos, y por lo tanto el primer lugar en riqueza y el primer lugar en equitabilidad. De igual forma la comunidad coralina en este sitio se compone principalmente organismos sanos.

Finalmente, se observa que la complejidad de hábitat calculada mediante monitoreo no invasivo corresponde con lo reportado por varios autores quienes sostienen que esta variable se relaciona directamente con la diversidad de organismos, y ya que esta relación se plantea como un índice de salud arrecifal, el arrecife Santiaguillo se considera en un estado “saludable”, ya que, de todos los sitios, sólo 2 de ellos no cumplieron con la relación esperada.

No obstante, también hay que señalar que tres sitios de la parte de sotavento se encuentran entre los primeros lugares de daño antrópico para el arrecife, esto se debe muchas veces a la acción de lanchas y anclas usadas por personal de la zona que ingresan a Santiaguillo, la actividad de los buzos en las inmersiones y efectos naturales como nortes o huracanes. Sin embargo, este tipo de daños se esperarían más frecuentemente en barlovento, ya que además de la actividad humana, la exposición directa al oleaje pondría en más riesgo a la comunidad coralina, aun así, los sitios de barlovento son los que presentan un menor daño causado por las actividades antrópicas, pero son los sitios con los primeros lugares de corales con daño biológico.

Como se observa en la Figura 31 y la Tabla 10, la complejidad de hábitat presenta una relación estadísticamente significativa con la profundidad ($P=0.02$), a mayor profundidad se observa como la complejidad de hábitat va en aumento, esta a su vez, demuestra que los sitios con menor complejidad están situados en la parte norte del arrecife, mientras que los sitios con mayor complejidad se distribuyen en la zona sur sin importar las zonas de sotavento o barlovento.

A fin de relacionar la complejidad de hábitat con todos los organismos asociados a arrecife, y una vez demostrado que la complejidad de hábitat también puede estar determinada por las formas coralinas que crecen en el sitio, se comparó la complejidad de hábitat con el comportamiento de la diversidad de estructuras coralinas, ya que los corales también son organismos asociados a arrecife.

Se encontró que en los sitios con mayor complejidad (zona sur) la relación era directa, ya que cuando un sitio aumenta de complejidad también lo hace en diversidad de corales (Figura 26 y Figura 33), en sentido contrario, los sitios de zonas menos complejas no presentan este comportamiento; aunque estos sitios presenten los valores más bajos de complejidad la diversidad esperada tenía que ser proporcional al valor de complejidad, es decir, que los sitios menos complejos deben tener una menor diversidad en comparación de los sitios más complejos, sin embargo, no solamente tienen menos diversidad, si no que en sitios donde la complejidad aumenta, la diversidad disminuye drásticamente.

Un ejemplo de esto es el sitio 7, donde a pesar de aumentar su complejidad en comparación con el sitio 6, el valor de diversidad cae drásticamente de un sitio a otro, esto comprueba que la diversidad de corales o cualquier otro organismo asociado a arrecife depende de muchos otros factores bióticos y abióticos además de la complejidad de hábitat, y evaluar la salud arrecifal usando solamente la relación entre estas dos variables no es siempre confiable, ya que se puede pensar que el sitio 7 está afectado, pero al revisar otras variables como la cobertura de algas y esponjas o la salud coralina, además de otros organismos como los erizos, se puede entender de manera más completa la situación de este sitio.

Dicho lo anterior, y ya que el sitio 7 es el único sitio dónde se observa una disminución tan drástica de la diversidad de corales cuando la complejidad de hábitat aumenta, se reconoce que el arrecife Santiaguillo se encuentra “Saludable” en cuanto a esta relación, y por los antecedentes observados en cuanto a la cobertura algal en este sitio, la salud coralina y el reciente crecimiento de la población del erizo *D. antillarum* se infiere que el sitio 7 se encuentra en una etapa de recuperación.

Por último, los coeficientes de correlación obtenidos mediante el análisis estadístico de todas las variables utilizadas en este estudio mostraron posibles relaciones que no se habían propuesto y descartó algunas otras que carecen de sustento estadístico.

Así mismo, se reconocieron variables en las que valdría la pena profundizar como la relación entre la diversidad de organismos asociados y la abundancia de anélidos u otros cordados, ya que esta relación solamente toma en cuenta el número de organismos, pero valdría la pena investigar si esta relación es directa o inversa, y de esta manera evaluar la diversidad de organismos utilizando solamente un grupo taxonómico a profundidad.

De manera similar, los coeficientes de correlación entre variables muestran posibles opciones de evaluar variables de interés a partir de otras más sencillas de estimar, un ejemplo de esto es la relación que existe entre la complejidad de hábitat y la abundancia de erizos, ya que si la comunidad de erizos puede estimar con cierto grado de precisión la complejidad de hábitat bajo un medio no invasivo como los fototransectos, se puede estandarizar un método que será fácil, rápido, universal y comparativo con otros trabajos ya que si cada trabajo evalúa sus variables como según convenga, la comparación a lo largo del tiempo será prácticamente imposible por la diferencia del método.

En el caso particular de los peces, como se mencionó anteriormente, son una variable poco confiable y difícil de estimar gracias a su movilidad y velocidad, sin embargo, diversos autores basan sus proyectos en la comunidad íctica arrecifal, y gracias a los coeficientes de correlación se encontró una relación entre la abundancia de peces y la abundancia de anélidos, esto puede solucionar este problema ya que de profundizar en esta relación se puede conocer una comunidad a partir de otra, no importa que la relación sea directa o inversa, es estadísticamente significativa y por lo tanto vale la pena seguir con una línea de investigación en esta dirección.

En definitiva, la salud arrecifal es un tema que abarca un número muy elevado de variables, sin embargo, en este trabajo queda demostrado que, con un solo método de muestreo, se pueden obtener resultados confiables que coinciden con lo reportado por otros autores que han trabajado la zona utilizando diferentes métodos invasivos o no invasivos. Definitivamente el sistema de visión estereoscópica se muestra como una alternativa para la evaluación de sistemas arrecifales bajo un enfoque no invasivo de bajo costo con el que se puede profundizar en variables como en precisión taxonómica tanto como el proyecto lo demande.

CONCLUSIONES

- ⌘ La relación entre la complejidad de hábitat y la diversidad de organismos asociados determina que el arrecife Santiaguillo se encuentra saludable.
- ⌘ La complejidad de hábitat y la profundidad comprueban que la parte sur presenta una mejor salud que la parte norte, por otro lado, no se encontraron diferencias entre barlovento y sotavento para estas variables.
- ⌘ El porcentaje de transecto sin ocupación biológica (SOB) se propone como un indicador inicial de salud arrecifal gracias a la relación indirecta que presenta con la cobertura coralina, asimismo, es una variable más rápida de calcular, no es necesaria experiencia alguna y se puede estimar con cualquier método.
- ⌘ *Diadema antillarum*, aumentó según los registros de otros trabajos y aunque la abundancia no fue suficiente para considerarlo un arrecife saludable, la sola presencia de esta especie en todos los sitios de muestreo sugiere que el arrecife está pasando por una etapa de recuperación.
- ⌘ Los valores obtenidos del grupo de los peces sugieren que el arrecife se encuentra dañado y gracias al método por el cual se contabilizaron no es posible hacer comparaciones con otros trabajos que utilizan a este grupo como punto central de la investigación.
- ⌘ En este estudio se proponen los organismos bentónicos sésiles como una mejor opción que los peces, ya que se contabilizan con mayor precisión y se descarta la posibilidad de contar dos veces al mismo organismo, sin embargo, la identificación taxonómica podría complicarse al muchas veces observar solamente partes del organismo y de así requerirlo, sería necesaria la manipulación o extracción.
- ⌘ Los índices ecológicos de organismos asociados calculados con números de Hill son una opción cuando se trabaja a nivel de grandes grupos, ya que se puede abarcar un mayor número de organismos lo cual se refleja en una mayor aportación al conocimiento y entendimiento de la comunidad arrecifal.
- ⌘ Se demuestra que utilizando fotografía estereoscópica se pueden monitorear muchas variables simultáneamente, reduciendo así el tiempo de muestreo, el número de muestreos, y la necesidad de contar con amplia experiencia taxonómica, ya que, de ser necesario, se puede consultar a algún experto que revise el respaldo fotográfico y orientar a una correcta identificación.

- ✂ Utilizar un mismo método para todas las variables homogeniza los resultados, puesto que cuando se usan distintos métodos el área de estudio cambia, ya sea por la implementación de cuadrantes de 1m² para organismos sésiles como los censos visuales de 20 m² para organismos móviles.
- ✂ La cobertura béntica arrecifal (CBA) según los valores de referencia indica que el arrecife Santiaguillo se encuentra en un estado dañado.
- ✂ Se demuestra la viabilidad de utilizar la morfología como método de identificación y caracterización de la comunidad coralina, ya que, al ser organismos constructores de arrecife, es más rápido conocer el impacto que generan sus estructuras que la identificación taxonómica del organismo.
- ✂ Se descarta la relación entre la complejidad de hábitat y la diversidad de formas coralinas.
- ✂ Se encuentra cierta relación entre la dominancia de corales constructores de arrecife y la complejidad de hábitat, ya que estos, si pueden alterar la topografía del fondo marino.
- ✂ La relación entre complejidad de hábitat y diversidad de organismos asociados demostró que la zona de sotavento presenta los sitios más saludables del arrecife a diferencia de los sitios de la zona de barlovento.
- ✂ La relación entre complejidad de hábitat y diversidad de estructuras coralinas demostró que a mayor complejidad hay mayor diversidad, sin embargo, esta relación fue más notable en los sitios más complejos, lo que hace suponer que la topografía geológica del sistema es un factor que determina el tipo de corales que crecen sobre él.
- ✂ La evaluación de la salud arrecifal no se puede centrar en una sola variable o en una sola relación entre variables, ya que, cada variable estudiada tiene su propia manera de interpretarse y cada una dará un veredicto de salud arrecifal, sin embargo, al tener mayor número de variables en el estudio, se engloba más conocimiento y se puede ofrecer una respuesta lo más cercana a la realidad como sea posible. Dicho lo anterior, la mayoría de las variables utilizadas en este estudio demostraron que el arrecife se encuentra “alterado” y sólo pocas sugieren que el arrecife se encuentra “saludable”, por ello y gracias a proyectos previos que se tienen en este arrecife, se considera un sistema alterado.

RECOMENDACIONES

- ⌘ Establecer sitios específicos dentro del área de estudio para poder monitorear los cambios que han sufrido a lo largo del tiempo ya que, de lo contrario, todos los estudios realizados en ese sistema no podrán ser mutuamente comparables ya que se trata de sitios distintos.
- ⌘ Mantener equitativo el número de sitios en las diferentes zonas del arrecife como barlovento, sotavento, norte y sur, y cubriendo el mayor número de profundidades en cada una de las zonas a fin de cubrir la mayor área posible y el mayor número de tipos de fondo.
- ⌘ Equipar el sistema de visión estereoscópica con una fuente de luz externa, ya que en los transectos que se encuentran a mayor profundidad la luz escasea y muchas veces se pierden los colores, por lo que no es posible la correcta identificación de las especies, así como su estado de salud.
- ⌘ Evaluar el mayor número de organismos, y si es posible identificar morfoespecies dentro de cada grupo, esto hará más robusto el análisis lo que ayudará a la mejor interpretación y toma de decisiones.
- ⌘ Usar los coeficientes de correlación para identificar organismos que se relacionen entre sí para poder estimar las condiciones de uno a partir de otro, ya que muchas veces, por la naturaleza del proyecto no es posible analizar a todos los organismos, pero es posible inferir sobre alguno indirectamente.
- ⌘ Realizar el monitoreo de los parámetros físicos y químicos del agua en el momento de realizar los transectos, y de ser posible a la misma profundidad, ya que la condición del agua también es un factor importante que interviene en la salud arrecifal.
- ⌘ Estandarizar el monitoreo no invasivo de forma que todas las variables puedan ser analizadas bajo el mismo método de muestreo para que los futuros proyectos puedan ser mutuamente comparables, esto no sólo ayuda a reconocer las perturbaciones de los sitios a lo largo del tiempo, sino a comparar sistemas arrecifales distintos.

BIBLIOGRAFÍA

- Barrera-Correa, A. I., (2018). Opistobranquios asociados a la plataforma arrecifal de Santiaguillo, Veracruz, México. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.
- CONABIO. (2005). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Sistema Arrecifal Veracruzano.
- CONANP. (2011). Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. .
- DOF. (1992). Diario Oficial de la Federación. Tomo CDLXVII. No. 16. México, D.F. a lunes 24 de agosto de 1992. 6-16.
- DOF. (2000). Diario Oficial de la Federación. Jueves 30 de noviembre de 2000.
- Durán, A., & Alcolado, P. M. (2011). Sistema de escalas para la clasificación y puntaje de condición del bentos e ictiofauna de arrecifes coralinos de Cuba y del Gran Caribe.
- Dustan, Phillip, Orla Doherty, & Shinta Pardede. (2013). Digital reef rugosity estimates coral reef habitat complexity. *PloS one*, 8(2), e57386.
- Edinger, E. N., & Risk, M. J. (2000). Reef classification by coral morphology predicts coral reef conservation value. *Biological Conservation*, 92(1), 1-13.
- Espinosa-Mendoza, D. A., (2015). Evaluación de daños en corales del arrecife Santiaguillo, Veracruz. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.
- FIR. (2004). Ficha Informativa de los Humedales RAMSAR. Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano.
- García-Rivero, A. (2013). Desarrollo de la metodología para la aplicación de visión estereoscópica en la estimación de parámetros ecológicos de corales. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.
- Gratwicke, Brian, & Martin R Speight. (2005). Effects of habitat complexity on Caribbean marine fish assemblages. *Marine Ecology Progress Series*, 292, 301-310.
- Grigg, Richard W. (1994). Effects of sewage discharge, fishing pressure and habitat complexity on coral ecosystems and reef fishes in Hawaii. *Marine ecology progress series*. Oldendorf, 103(1), 25-34.
- Hixon, Mark A, & James P Beets. (1993). Predation, prey refuges, and the structure of coral-reef fish assemblages. *Ecological Monographs*, 63(1), 77-101.

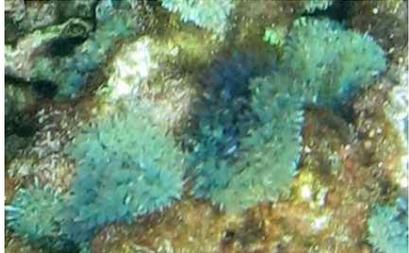
- Humann, D. & DeLoach, N., (2011). Reef Coral Identification: Florida, Caribbean, Bahamas: including marine plants (2nd edition ed.). Jacksonville, Florida USA.
- INE. (2007). Instituto Nacional de Ecología. Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano.
- Jones, J., Withers, K., & Tunnell, J. W. (2008). Comparison of benthic communities on six coral reefs in the Veracruz Reef System (Mexico). In Proceedings of the 11th International Coral Reef Symposium (Vol. 18, pp. 757-760).
- Jost, L., & González-Oreja, J. A. (2012). Midiendo la diversidad biológica: más allá del índice de Shannon. *Acta zoológica lilloana*, 56(1-2), 3-14.
- Lam, Katherine, Paul KS Shin, Robin Bradbeer, David Randall, Kenneth KK Ku, Paul Hodgson, & Siu Gin Cheung. (2006). A comparison of video and point intercept transect methods for monitoring subtropical coral communities. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 333(1), 115-128.
- Luckhurst, B. E., & Luckhurst, K. (1978). Analysis of the influence of substrate variables on coral reef fish communities. *Marine Biology*, 49(4), 317-323.
- MacArthur, Robert H, & John W MacArthur. (1961). On bird species diversity. *Ecology*, 42(3), 594-598.
- Martin-Garin, B, B Lathuilière, Eric P Verrecchia, & J Geister. (2007). Use of fractal dimensions to quantify coral shape. *Coral Reefs*, 26(3), 541-550.
- McCoy, Earl D, & Susan S Bell. (1991). Habitat structure: the evolution and diversification of a complex topic Habitat structure (pp. 3-27): Springer.
- McField, M. y P. Richards Kramer. 2007. Healthy Reefs for Healthy People: A Guide to Indicators of Reef Health and Social Well-being in the Mesoamerican Reef Region. (Arrecifes Saludables para Gente Saludable: Guía de indicadores de salud de los arrecifes y bienestar social en la región del Sistema Arrecifal Mesoamericano). Con las contribuciones de M. Gorrez y M. McPherson. 208 págs.
- Moreno, C. E., Barragán, F., Pineda, E., & Pavón, N. P. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista mexicana de biodiversidad*, 82(4), 1249-1261.
- NOAA. (2014). National Oceanic and Atmospheric Administration. Coral Reef Information System Glossary. <http://coris.noaa.gov>

- Ortiz-Cano, M. (2014). Zonación ecológica del arrecife Santiaguillo, Veracruz. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.
- Ortiz-Lozano, Leonardo, Horacio Pérez-España, Alejandro Granados-Barba, Carlos González-Gándara, Ana Gutiérrez-Velázquez, & Javier Martos. (2013). The reef Corridor of the Southwest Gulf of Mexico: challenges for its management and conservation. *Ocean & coastal management*, 86, 22-32.
- Palacios, María del Mar, & Fernando A Zapata. (2014). Fish community structure on coral habitats with contrasting architecture in the Tropical Eastern Pacific. *Revista de Biología Tropical*, 62, 343-357.
- Pérez España, H. y J. M. Vargas Hernández, 2008 [1]. Caracterización ecológica y monitoreo del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano: Primera Etapa. Universidad Veracruzana. Centro de Ecología y Pesquerías Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. DM002. México D. F.
- Pérez España, H. y J. M. Vargas Hernández, 2008 [2]. Caracterización ecológica y monitoreo del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano: Primera Etapa. Universidad Veracruzana. Centro de Ecología y Pesquerías Hoja de cálculo SNIB-CONABIO proyecto No. DM002. México D. F.
- Pérez-España, H., Ávila-Gutiérrez, P. S., Melo-Merino, S. M., Berumen-Solórzano, P., & Flores-Arévalo, R. R. (2015). Patrones interanuales e interarrecifales de las comunidades de peces, corales y equinodermos en el Sistema Arrecifal Veracruzano. *Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México*, 157-178.
- Reyna González, Pedro César. (2014). Modelo de soporte para la toma de decisiones en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano.
- Risk, Michael J. (1972). Fish diversity on a coral reef in the Virgin Islands: Smithsonian Institution.
- Segnini, S. (1995). Medición de la diversidad en una comunidad de insectos. *Bol Entomol Venez*, 10(1), 105-13.
- Tews, J, U Brose, V Grimm, K Tielbörger, M Wichmann, M Schwager, & F Jeltsch. (2004). Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: the importance of keystone structures. *Journal of biogeography*, 31(1), 79-92.
- Tokeshi, M, & S Arakaki. (2012). Habitat complexity in aquatic systems: fractals and beyond. *Hydrobiologia*, 685(1), 27-47.

- Vicencio- de la Cruz F., (2013). Estructura de las comunidades macrobentónicas y nectónicas asociadas a los sustratos rocosos coralinos del arrecife Lobos, Veracruz, México. Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias.
- Zamani, N. P., & Madduppa, H. H. (2011). A standard criteria for assesing the health of coral reefs: implication for management and conservation. *Journal of Indonesia Coral Reefs*, 1(2), 137-146.

ANEXOS

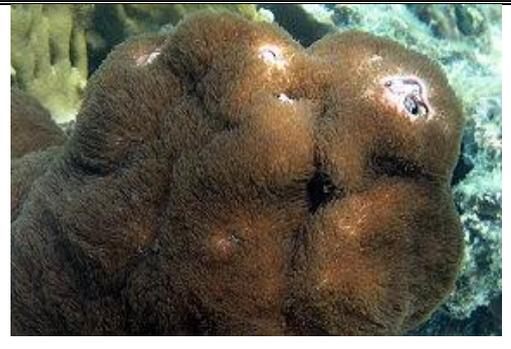
ANEXO I. LISTA DE ORGANISMOS ASOCIADOS AL ARRECIFE SANTIAGUILLO

Organismo	Ejemplo
<i>Peces</i>	
<i>Otros Cordados</i>	
<i>Equinodermos</i>	
<i>Moluscos</i>	
<i>Anélidos</i>	
<i>Cnidarios</i>	

ANEXO II. FORMAS DE CRECIMIENTO CORALINO

Se muestra la clasificación de los corales según su forma de crecimiento, así como algunos ejemplos de las especies que entran dentro de esta clasificación.

Forma de crecimiento	Ejemplo	Especies
Cerebro		<i>Colpophyllia breviserialis</i> <i>Colpophyllia natans</i> <i>Diploria clivosa</i> <i>Diploria labyrinthiformis</i> <i>Diploria strigosa</i> <i>Meandrina meandrites</i>
Digitiforme		<i>Porites Porites</i> <i>Porites furcate</i> <i>Porites divaricata</i> <i>Madracis mirabilis</i> <i>Madracis asperula</i>
Foliar		<i>Agaricia agaricites</i> <i>Agaricia fragilis</i> <i>Agaricia humilis</i> <i>Agaricia lamarcki</i> <i>Mycetophyllia reesi</i>
Hidrocoral		<i>Millepora alcornis</i> <i>Millepora complanate</i> <i>Millepora squarrosa</i> <i>Millepora striata</i>
Incrustante		<i>Madracis pharensis</i> <i>Siderastrea radians</i> <i>Stephanacoenia intercepta</i> <i>Solenastrea hyades</i>

<p>Montículo</p>		<p><i>Porites asteroides</i> <i>Montastraea faveolata</i> <i>Montastraea franksi</i> <i>Montastraea cavernosa</i> <i>Montastraea annularis</i></p>
<p>Ramificación aplanada</p>		<p><i>Acropora palmata</i></p>
<p>Ramificación redonda</p>		<p><i>Acropora cervicornis</i> <i>Acropora prolifera</i></p>
<p>Gorgonáceo</p>		<p><i>Erythropodium caribaeorum</i></p>

La clasificación tomo de referencia los trabajos de Luckhurst & Luckhurst (1978); Edinger & Risk (2000) y Zamani & Madduppa (2011).

ANEXO III. COEFICIENTES DE CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES

Se muestran en rojo los valores de $P < 0.05$ para cada una de las relaciones entre las 31 variables del proyecto, dónde:

- D0-F= Riqueza de formas coralinas
- D1-F= Diversidad de formas coralinas
- D2-F= Dominancia de formas coralinas
- D3-F= Equidad de formas coralinas
- D0-C= Riqueza de estructuras coralinas
- D1-C= Diversidad de estructuras coralinas
- D2-C= Dominancia de estructuras coralinas
- D3-C= Equidad de estructuras coralinas
- D0-OA= Riqueza de organismos asociados
- D1-OA= Diversidad de organismos asociados
- D2-OA= Dominancia de organismos asociados
- D3-OA= Equidad de organismos asociados
- %CC= Porcentaje de cobertura de corales
- %CA= Porcentaje de cobertura de algas
- %CE= Porcentaje de cobertura de esponjas
- SOB= Porcentaje del transecto sin ocupación biológica
- Prof= Profundidad
- CH= Complejidad de hábitat
- CS= Coral sano
- CDB= Coral con daño biológico
- CDA= Coral con daño antrópico

	D0-F	D1-F	D2-F	D3-F	D0-C	D1-C	D2-C	D3-C	D0-OA
D0-F		0.3973 (9)	-0.7014 (9)	-0.7114 (9)	1.0000 (9)	0.5573 (9)	-0.4216 (9)	-0.6295 (9)	0.2500 (9)
D1-F	0.3973 (9)		0.2897 0.0353	0.0316	0.0000	0.1190 (9)	0.2583 (9)	0.0692 (9)	0.5165 (9)
D2-F	0.2897 (9)	-0.6857 (9)		-0.6707 (9)	0.3973 (9)	0.3241 (9)	-0.3624 (9)	-0.4489 (9)	-0.0241 (9)
D3-F	0.2897 0.0353	-0.6857 0.0415		0.9992 0.0000	-0.7014 0.0353	-0.7865 0.0119	0.8342 0.0052	0.9123 0.0006	-0.1218 0.7548
D0-C	-0.7114 (9)	-0.6707 (9)	0.9992 (9)		-0.7114 (9)	-0.8060 (9)	0.8472 (9)	0.9252 (9)	-0.1191 (9)
D0-OA	0.0316	0.0480	0.0000		0.0316	0.0087	0.0039	0.0004	0.7603
D0-C	1.0000 (9)	0.3973 (9)	-0.7014 (9)	-0.7114 (9)		0.5573 (9)	-0.4216 (9)	-0.6295 (9)	0.2500 (9)

	0.0000	0.2897	0.0353	0.0316		0.1190	0.2583	0.0692	0.5165
D1-C	0.5573	0.3241	-0.7865	-0.8060	0.5573		-0.9494	-0.9633	0.1821
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)		(9)	(9)	(9)
	0.1190	0.3948	0.0119	0.0087	0.1190		0.0001	0.0000	0.6390
D2-C	-0.4216	-0.3624	0.8342	0.8472	-0.4216	-0.9494		0.9682	-0.0402
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)		(9)	(9)
	0.2583	0.3378	0.0052	0.0039	0.2583	0.0001		0.0000	0.9183
D3-C	-0.6295	-0.4489	0.9123	0.9252	-0.6295	-0.9633	0.9682		-0.1346
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)		(9)
	0.0692	0.2254	0.0006	0.0004	0.0692	0.0000	0.0000		0.7300
D0-OA	0.2500	-0.0241	-0.1218	-0.1191	0.2500	0.1821	-0.0402	-0.1346	
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	
	0.5165	0.9508	0.7548	0.7603	0.5165	0.6390	0.9183	0.7300	
D1-OA	-0.0281	-0.3342	-0.0328	-0.0327	-0.0281	0.1374	-0.1446	-0.1234	0.6755
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.9429	0.3794	0.9332	0.9334	0.9429	0.7244	0.7104	0.7517	0.0459
D2-OA	-0.0265	0.6020	-0.1404	-0.1277	-0.0265	-0.1258	0.0407	0.0371	-0.6658
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.9460	0.0863	0.7186	0.7434	0.9460	0.7470	0.9172	0.9245	0.0503
D3-OA	-0.0243	0.5344	-0.1339	-0.1233	-0.0243	-0.1071	0.0161	0.0207	-0.7212
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.9505	0.1383	0.7314	0.7519	0.9505	0.7839	0.9673	0.9578	0.0283
%CC	0.6017	-0.1442	-0.3945	-0.4230	0.6017	0.6435	-0.5208	-0.5982	0.3380
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.0865	0.7112	0.2935	0.2566	0.0865	0.0615	0.1505	0.0888	0.3736
%CA	-0.4007	-0.1066	0.6517	0.6637	-0.4007	-0.7042	0.7821	0.7507	0.3278
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.2852	0.7849	0.0572	0.0513	0.2852	0.0342	0.0128	0.0198	0.3892
%CE	-0.8222	-0.4787	0.9248	0.9338	-0.8222	-0.8322	0.8206	0.9243	-0.1648
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.0065	0.1923	0.0004	0.0002	0.0065	0.0054	0.0067	0.0004	0.6717
Coral muerto	-0.2408	-0.1170	-0.2755	-0.2664	-0.2408	0.3022	-0.4657	-0.3416	0.3744
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.5325	0.7644	0.4730	0.4883	0.5325	0.4292	0.2065	0.3683	0.3208
Escombros	0.0387	-0.1148	-0.2635	-0.2620	0.0387	0.2421	-0.3223	-0.2673	0.0970
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.9212	0.7686	0.4932	0.4959	0.9212	0.5302	0.3976	0.4869	0.8039
Arenoso	0.0112	-0.0426	-0.1424	-0.1360	0.0112	-0.0537	-0.0662	-0.0560	-0.1155
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.9772	0.9133	0.7147	0.7272	0.9772	0.8909	0.8655	0.8863	0.7673
Rocoso	0.1248	0.4652	-0.2999	-0.2919	0.1248	0.1436	-0.2069	-0.2101	-0.5127
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.7490	0.2070	0.4330	0.4460	0.7490	0.7125	0.5933	0.5874	0.1581
Peces	0.4779	-0.3474	-0.0798	-0.0969	0.4779	0.2854	-0.1134	-0.2109	0.2628
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.1932	0.3596	0.8383	0.8042	0.1932	0.4566	0.7714	0.5859	0.4944
Cordados	-0.2141	-0.0500	-0.1690	-0.1561	-0.2141	0.1410	-0.2709	-0.1949	0.4851
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.5801	0.8983	0.6638	0.6884	0.5801	0.7175	0.4808	0.6153	0.1856
Erizos	-0.0030	0.4499	0.1787	0.1859	-0.0030	-0.3671	0.4455	0.3529	-0.0220
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.9938	0.2243	0.6455	0.6320	0.9938	0.3311	0.2295	0.3516	0.9552
Moluscos	-0.3368	0.0602	0.4407	0.4518	-0.3368	-0.3743	0.5010	0.4805	0.5597
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.3755	0.8777	0.2352	0.2222	0.3755	0.3210	0.1695	0.1905	0.1171
Anélidos	0.6740	-0.1302	-0.2622	-0.2776	0.6740	0.4467	-0.2272	-0.3808	0.6677
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.0465	0.7386	0.4955	0.4695	0.0465	0.2281	0.5566	0.3120	0.0494
Cnidarios	-0.4069	-0.0312	0.6749	0.6887	-0.4069	-0.7853	0.8583	0.8230	0.1178
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.2771	0.9364	0.0461	0.0402	0.2771	0.0121	0.0031	0.0064	0.7628
SOB	0.1237	0.3979	-0.5241	-0.5125	0.1237	0.3136	-0.4691	-0.4238	-0.4561
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.7511	0.2888	0.1475	0.1584	0.7511	0.4113	0.2027	0.2556	0.2172

Prof	0.0000	0.3227	-0.6094	-0.5967	0.0000	0.4837	-0.6416	-0.5615	0.1866
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	1.0000	0.3970	0.0815	0.0898	1.0000	0.1871	0.0625	0.1157	0.6308
CH	0.2500	0.3254	0.1934	0.1958	0.2500	-0.3535	0.4887	0.3346	-0.0725
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.5165	0.3928	0.6181	0.6137	0.5165	0.3507	0.1819	0.3789	0.8529
CS	0.5290	0.1083	-0.4573	-0.4754	0.5290	0.5764	-0.4867	-0.5689	0.5129
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.1431	0.7815	0.2158	0.1959	0.1431	0.1043	0.1839	0.1099	0.1580
CDB	0.5408	-0.3395	-0.2514	-0.2840	0.5408	0.5788	-0.4452	-0.5023	0.1175
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.1328	0.3714	0.5140	0.4590	0.1328	0.1025	0.2298	0.1682	0.7634
CDA	0.3699	-0.3218	-0.2232	-0.2375	0.3699	0.1815	-0.2308	-0.2609	-0.1347
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.3271	0.3984	0.5638	0.5384	0.3271	0.6402	0.5502	0.4978	0.7298

	D1-OA	D2-OA	D3-OA	%CC	%CA	%CE	Coral muerto	Escombros
D0-F	-0.0281	-0.0265	-0.0243	0.6017	-0.4007	-0.8222	-0.2408	0.0387
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.9429	0.9460	0.9505	0.0865	0.2852	0.0065	0.5325	0.9212
D1-F	-0.3342	0.6020	0.5344	-0.1442	-0.1066	-0.4787	-0.1170	-0.1148
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.3794	0.0863	0.1383	0.7112	0.7849	0.1923	0.7644	0.7686
D2-F	-0.0328	-0.1404	-0.1339	-0.3945	0.6517	0.9248	-0.2755	-0.2635
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.9332	0.7186	0.7314	0.2935	0.0572	0.0004	0.4730	0.4932
D3-F	-0.0327	-0.1277	-0.1233	-0.4230	0.6637	0.9338	-0.2664	-0.2620
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.9334	0.7434	0.7519	0.2566	0.0513	0.0002	0.4883	0.4959
D0-C	-0.0281	-0.0265	-0.0243	0.6017	-0.4007	-0.8222	-0.2408	0.0387
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.9429	0.9460	0.9505	0.0865	0.2852	0.0065	0.5325	0.9212
D1-C	0.1374	-0.1258	-0.1071	0.6435	-0.7042	-0.8322	0.3022	0.2421
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.7244	0.7470	0.7839	0.0615	0.0342	0.0054	0.4292	0.5302
D2-C	-0.1446	0.0407	0.0161	-0.5208	0.7821	0.8206	-0.4657	-0.3223
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.7104	0.9172	0.9673	0.1505	0.0128	0.0067	0.2065	0.3976
D3-C	-0.1234	0.0371	0.0207	-0.5982	0.7507	0.9243	-0.3416	-0.2673
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.7517	0.9245	0.9578	0.0888	0.0198	0.0004	0.3683	0.4869
D0-OA	0.6755	-0.6658	-0.7212	0.3380	0.3278	-0.1648	0.3744	0.0970
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.0459	0.0503	0.0283	0.3736	0.3892	0.6717	0.3208	0.8039
D1-OA		-0.8178	-0.8464	0.3461	0.1844	-0.1535	0.7307	0.5630
		(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
		0.0071	0.0040	0.3616	0.6348	0.6935	0.0254	0.1145
D2-OA	-0.8178		0.9925	-0.5809	-0.1506	0.0079	-0.4574	-0.4533
	(9)		(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.0071		0.0000	0.1009	0.6989	0.9838	0.2157	0.2205
D3-OA	-0.8464	0.9925		-0.5481	-0.2323	-0.0007	-0.4585	-0.4570
	(9)	(9)		(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.0040	0.0000		0.1265	0.5475	0.9985	0.2145	0.2162
%CC	0.3461	-0.5809	-0.5481		-0.3235	-0.6002	0.0663	0.1331
	(9)	(9)	(9)		(9)	(9)	(9)	(9)
	0.3616	0.1009	0.1265		0.3957	0.0875	0.8655	0.7328
%CA	0.1844	-0.1506	-0.2323	-0.3235		0.6652	-0.2352	-0.2450
	(9)	(9)	(9)	(9)		(9)	(9)	(9)
	0.6348	0.6989	0.5475	0.3957		0.0506	0.5425	0.5251
%CE	-0.1535	0.0079	-0.0007	-0.6002	0.6652		-0.2158	-0.2361
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)		(9)	(9)
	0.6935	0.9838	0.9985	0.0875	0.0506		0.5771	0.5408

Coral muerto	0.7307	-0.4574	-0.4585	0.0663	-0.2352	-0.2158		0.5436
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)		(9)
	0.0254	0.2157	0.2145	0.8655	0.5425	0.5771		0.1304
Escombros	0.5630	-0.4533	-0.4570	0.1331	-0.2450	-0.2361	0.5436	
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	
	0.1145	0.2205	0.2162	0.7328	0.5251	0.5408	0.1304	
Arenoso	-0.2984	0.0458	0.1084	0.0783	-0.3278	0.0028	0.0624	-0.2649
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.4354	0.9068	0.7813	0.8413	0.3892	0.9943	0.8734	0.4910
Rocoso	-0.6840	0.8636	0.8878	-0.4407	-0.4774	-0.2219	-0.2301	-0.3981
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.0422	0.0027	0.0014	0.2351	0.1937	0.5661	0.5515	0.2886
Peces	-0.1056	-0.2733	-0.2024	0.4377	-0.4055	-0.2344	-0.1771	-0.2181
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.7868	0.4767	0.6015	0.2386	0.2789	0.5438	0.6485	0.5730
Cordados	0.7600	-0.3619	-0.3889	-0.0092	0.0277	-0.1767	0.8857	0.2548
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.0175	0.3385	0.3010	0.9813	0.9436	0.6493	0.0015	0.5082
Erizos	-0.4928	0.3822	0.3189	-0.1756	0.5999	0.3104	-0.6571	-0.5972
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.1777	0.3101	0.4030	0.6513	0.0877	0.4162	0.0545	0.0895
Moluscos	0.2479	-0.1617	-0.2587	-0.3263	0.8530	0.4984	-0.0469	-0.1808
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.5201	0.6776	0.5016	0.3914	0.0035	0.1721	0.9046	0.6415
Anélidos	0.3969	-0.4701	-0.4662	0.5998	-0.1360	-0.5136	0.0347	-0.0327
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.2903	0.2016	0.2059	0.0878	0.7271	0.1573	0.9294	0.9335
Cnidarios	-0.0881	0.0570	-0.0173	-0.4663	0.9502	0.7432	-0.4368	-0.2894
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.8216	0.8842	0.9648	0.2057	0.0001	0.0217	0.2397	0.4500
SOB	-0.3643	0.5981	0.6335	-0.3615	-0.7306	-0.3910	0.2042	0.1625
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.3351	0.0889	0.0670	0.3392	0.0254	0.2980	0.5982	0.6761
Prof	0.1760	-0.0563	-0.0500	-0.0133	-0.5242	-0.3681	0.7141	0.3912
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.6505	0.8855	0.8983	0.9729	0.1474	0.3297	0.0307	0.2979
CH	-0.3864	0.4541	0.4016	-0.1531	0.5141	0.0983	-0.7553	-0.6208
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.3043	0.2195	0.2839	0.6942	0.1568	0.8014	0.0186	0.0744
CS	0.5383	-0.5757	-0.5976	0.8796	-0.0459	-0.5927	0.2080	0.2177
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.1349	0.1048	0.0892	0.0018	0.9067	0.0925	0.5913	0.5736
CDB	0.0883	-0.4565	-0.3812	0.8975	-0.5067	-0.4787	-0.0836	0.0052
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.8213	0.2168	0.3114	0.0010	0.1639	0.1924	0.8307	0.9894
CDA	0.2641	-0.4498	-0.3894	0.6313	-0.3742	-0.3578	0.0877	0.4866
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.4924	0.2244	0.3003	0.0682	0.3211	0.3445	0.8225	0.1841

	Arenoso	Rocoso	Peces	Cordados	Erizos	Moluscos	Anélidos	Cnidarios	SOB
D0-F	0.0112	0.1248	0.4779	-0.2141	-0.0030	-0.3368	0.6740	-0.4069	0.1237
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.9772	0.7490	0.1932	0.5801	0.9938	0.3755	0.0465	0.2771	0.7511
D1-F	-0.0426	0.4652	-0.3474	-0.0500	0.4499	0.0602	-0.1302	-0.0312	0.3979
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.9133	0.2070	0.3596	0.8983	0.2243	0.8777	0.7386	0.9364	0.2888
D2-F	-0.1424	-0.2999	-0.0798	-0.1690	0.1787	0.4407	-0.2622	0.6749	-0.5241
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.7147	0.4330	0.8383	0.6638	0.6455	0.2352	0.4955	0.0461	0.1475
D3-F	-0.1360	-0.2919	-0.0969	-0.1561	0.1859	0.4518	-0.2776	0.6887	-0.5125
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.7272	0.4460	0.8042	0.6884	0.6320	0.2222	0.4695	0.0402	0.1584

D0-C	0.0112	0.1248	0.4779	-0.2141	-0.0030	-0.3368	0.6740	-0.4069	0.1237
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
D1-C	0.9772	0.7490	0.1932	0.5801	0.9938	0.3755	0.0465	0.2771	0.7511
	-0.0537	0.1436	0.2854	0.1410	-0.3671	-0.3743	0.4467	-0.7853	0.3136
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
D2-C	0.8909	0.7125	0.4566	0.7175	0.3311	0.3210	0.2281	0.0121	0.4113
	-0.0662	-0.2069	-0.1134	-0.2709	0.4455	0.5010	-0.2272	0.8583	-0.4691
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
D3-C	0.8655	0.5933	0.7714	0.4808	0.2295	0.1695	0.5566	0.0031	0.2027
	-0.0560	-0.2101	-0.2109	-0.1949	0.3529	0.4805	-0.3808	0.8230	-0.4238
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
D0-OA	0.8863	0.5874	0.5859	0.6153	0.3516	0.1905	0.3120	0.0064	0.2556
	-0.1155	-0.5127	0.2628	0.4851	-0.0220	0.5597	0.6677	0.1178	-0.4561
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
D1-OA	0.7673	0.1581	0.4944	0.1856	0.9552	0.1171	0.0494	0.7628	0.2172
	-0.2984	-0.6840	-0.1056	0.7600	-0.4928	0.2479	0.3969	-0.0881	-0.3643
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
D2-OA	0.4354	0.0422	0.7868	0.0175	0.1777	0.5201	0.2903	0.8216	0.3351
	0.0458	0.8636	-0.2733	-0.3619	0.3822	-0.1617	-0.4701	0.0570	0.5981
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
D3-OA	0.9068	0.0027	0.4767	0.3385	0.3101	0.6776	0.2016	0.8842	0.0889
	0.1084	0.8878	-0.2024	-0.3889	0.3189	-0.2587	-0.4662	-0.0173	0.6335
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
%CC	0.7813	0.0014	0.6015	0.3010	0.4030	0.5016	0.2059	0.9648	0.0670
	0.0783	-0.4407	0.4377	-0.0092	-0.1756	-0.3263	0.5998	-0.4663	-0.3615
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
%CA	0.8413	0.2351	0.2386	0.9813	0.6513	0.3914	0.0878	0.2057	0.3392
	-0.3278	-0.4774	-0.4055	0.0277	0.5999	0.8530	-0.1360	0.9502	-0.7306
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
%CE	0.3892	0.1937	0.2789	0.9436	0.0877	0.0035	0.7271	0.0001	0.0254
	0.0028	-0.2219	-0.2344	-0.1767	0.3104	0.4984	-0.5136	0.7432	-0.3910
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
Coral muerto	0.9943	0.5661	0.5438	0.6493	0.4162	0.1721	0.1573	0.0217	0.2980
	0.0624	-0.2301	-0.1771	0.8857	-0.6571	-0.0469	0.0347	-0.4368	0.2042
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
Escombros	0.8734	0.5515	0.6485	0.0015	0.0545	0.9046	0.9294	0.2397	0.5982
	-0.2649	-0.3981	-0.2181	0.2548	-0.5972	-0.1808	-0.0327	-0.2894	0.1625
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
Arenoso	0.4910	0.2886	0.5730	0.5082	0.0895	0.6415	0.9335	0.4500	0.6761
		0.1105	0.3635	-0.0892	0.0747	-0.4652	-0.2033	-0.2533	0.1722
		(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
Rocoso		0.7771	0.3362	0.8196	0.8486	0.2070	0.5998	0.5108	0.6577
	0.1105		0.0925	-0.1699	-0.0122	-0.3374	-0.1349	-0.3235	0.8131
	(9)		(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
Peces	0.7771		0.8130	0.6620	0.9751	0.3745	0.7294	0.3958	0.0077
	0.3635	0.0925		-0.2485	-0.2613	-0.2917	0.6861	-0.3957	0.0235
	(9)	(9)		(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
Cordados	0.3362	0.8130		0.5192	0.4970	0.4462	0.0413	0.2917	0.9522
	-0.0892	-0.1699	-0.2485		-0.4762	0.1723	0.1642	-0.2286	0.0604
	(9)	(9)	(9)		(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
Erizos	0.8196	0.6620	0.5192		0.1951	0.6575	0.6729	0.5542	0.8774
	0.0747	-0.0122	-0.2613	-0.4762		0.4665	-0.2765	0.7101	-0.4167
	(9)	(9)	(9)	(9)		(9)	(9)	(9)	(9)
Moluscos	0.8486	0.9751	0.4970	0.1951		0.2056	0.4714	0.0321	0.2645
	-0.4652	-0.3374	-0.2917	0.1723	0.4665		0.0586	0.7762	-0.5517
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)		(9)	(9)	(9)
Anélidos	0.2070	0.3745	0.4462	0.6575	0.2056		0.8809	0.0139	0.1236
	-0.2033	-0.1349	0.6861	0.1642	-0.2765	0.0586		-0.2947	-0.1949
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)		(9)	(9)
Cnidarios	0.5998	0.7294	0.0413	0.6729	0.4714	0.8809		0.4414	0.6153
	-0.2533	-0.3235	-0.3957	-0.2286	0.7101	0.7762	-0.2947		-0.6057
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)		(9)
SOB	0.5108	0.3958	0.2917	0.5542	0.0321	0.0139	0.4414		0.0839
	0.1722	0.8131	0.0235	0.0604	-0.4167	-0.5517	-0.1949	-0.6057	

	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	
	0.6577	0.0077	0.9522	0.8774	0.2645	0.1236	0.6153	0.0839	
Prof	0.4263	0.1449	0.0004	0.4508	-0.3707	-0.2365	-0.1182	-0.5497	0.5457
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.2526	0.7099	0.9992	0.2233	0.3261	0.5401	0.7620	0.1252	0.1285
CH	-0.3321	0.2150	-0.1237	-0.3825	0.6975	0.3548	0.1137	0.5696	-0.2855
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.3826	0.5785	0.7512	0.3097	0.0367	0.3488	0.7709	0.1094	0.4564
CS	-0.1151	-0.5664	0.0571	0.2206	-0.0026	-0.0266	0.4976	-0.2424	-0.4654
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.7682	0.1118	0.8841	0.5684	0.9948	0.9459	0.1728	0.5297	0.2068
CDB	0.2328	-0.2199	0.7061	-0.2181	-0.2889	-0.5156	0.5797	-0.5712	-0.1912
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.5466	0.5697	0.0335	0.5729	0.4509	0.1554	0.1018	0.1082	0.6221
CDA	0.2651	-0.4317	0.1806	-0.1147	-0.3496	-0.6673	0.1043	-0.4014	-0.1139
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.4906	0.2459	0.6419	0.7688	0.3564	0.0496	0.7894	0.2842	0.7704

	Prof	CH	CS	CDB	CDA
D0-F	0.0000	0.2500	0.5290	0.5408	0.3699
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	1.0000	0.5165	0.1431	0.1328	0.3271
D1-F	0.3227	0.3254	0.1083	-0.3395	-0.3218
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.3970	0.3928	0.7815	0.3714	0.3984
D2-F	-0.6094	0.1934	-0.4573	-0.2514	-0.2232
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.0815	0.6181	0.2158	0.5140	0.5638
D3-F	-0.5967	0.1958	-0.4754	-0.2840	-0.2375
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.0898	0.6137	0.1959	0.4590	0.5384
D0-C	0.0000	0.2500	0.5290	0.5408	0.3699
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	1.0000	0.5165	0.1431	0.1328	0.3271
D1-C	0.4837	-0.3535	0.5764	0.5788	0.1815
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.1871	0.3507	0.1043	0.1025	0.6402
D2-C	-0.6416	0.4887	-0.4867	-0.4452	-0.2308
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.0625	0.1819	0.1839	0.2298	0.5502
D3-C	-0.5615	0.3346	-0.5689	-0.5023	-0.2609
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.1157	0.3789	0.1099	0.1682	0.4978
D0-OA	0.1866	-0.0725	0.5129	0.1175	-0.1347
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.6308	0.8529	0.1580	0.7634	0.7298
D1-OA	0.1760	-0.3864	0.5383	0.0883	0.2641
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.6505	0.3043	0.1349	0.8213	0.4924
D2-OA	-0.0563	0.4541	-0.5757	-0.4565	-0.4498
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.8855	0.2195	0.1048	0.2168	0.2244
D3-OA	-0.0500	0.4016	-0.5976	-0.3812	-0.3894
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.8983	0.2839	0.0892	0.3114	0.3003
%CC	-0.0133	-0.1531	0.8796	0.8975	0.6313
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.9729	0.6942	0.0018	0.0010	0.0682
%CA	-0.5242	0.5141	-0.0459	-0.5067	-0.3742

	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.1474	0.1568	0.9067	0.1639	0.3211
%CE	-0.3681	0.0983	-0.5927	-0.4787	-0.3578
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.3297	0.8014	0.0925	0.1924	0.3445
Coral muerto	0.7141	-0.7553	0.2080	-0.0836	0.0877
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.0307	0.0186	0.5913	0.8307	0.8225
Escombros	0.3912	-0.6208	0.2177	0.0052	0.4866
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.2979	0.0744	0.5736	0.9894	0.1841
Arenoso	0.4263	-0.3321	-0.1151	0.2328	0.2651
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.2526	0.3826	0.7682	0.5466	0.4906
Rocoso	0.1449	0.2150	-0.5664	-0.2199	-0.4317
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.7099	0.5785	0.1118	0.5697	0.2459
Peces	0.0004	-0.1237	0.0571	0.7061	0.1806
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.9992	0.7512	0.8841	0.0335	0.6419
Cordados	0.4508	-0.3825	0.2206	-0.2181	-0.1147
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.2233	0.3097	0.5684	0.5729	0.7688
Erizos	-0.3707	0.6975	-0.0026	-0.2889	-0.3496
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.3261	0.0367	0.9948	0.4509	0.3564
Moluscos	-0.2365	0.3548	-0.0266	-0.5156	-0.6673
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.5401	0.3488	0.9459	0.1554	0.0496
Anélidos	-0.1182	0.1137	0.4976	0.5797	0.1043
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.7620	0.7709	0.1728	0.1018	0.7894
Cnidarios	-0.5497	0.5696	-0.2424	-0.5712	-0.4014
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.1252	0.1094	0.5297	0.1082	0.2842
SOB	0.5457	-0.2855	-0.4654	-0.1912	-0.1139
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	0.1285	0.4564	0.2068	0.6221	0.7704
Prof		-0.7493	0.0431	-0.0632	-0.0132
		(9)	(9)	(9)	(9)
		0.0201	0.9123	0.8716	0.9731
CH	-0.7493		-0.0441	-0.2117	-0.3207
	(9)		(9)	(9)	(9)
	0.0201		0.9103	0.5845	0.4001
CS	0.0431	-0.0441		0.5803	0.4763
	(9)	(9)		(9)	(9)
	0.9123	0.9103		0.1014	0.1949
CDB	-0.0632	-0.2117	0.5803		0.6117
	(9)	(9)	(9)		(9)
	0.8716	0.5845	0.1014		0.0800
CDA	-0.0132	-0.3207	0.4763	0.6117	
	(9)	(9)	(9)	(9)	
	0.9731	0.4001	0.1949	0.0800	