



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS**



**CONECTIVIDAD  
DE LOS ARRECIFES CORALINOS  
DEL GOLFO DE MÉXICO Y CARIBE MEXICANO**

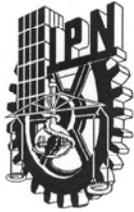
**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRIA EN CIENCIAS  
EN  
MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

**PRESENTA  
ALEJANDRA CHÁVEZ-HIDALGO**

**LA PAZ, B.C.S., ENERO DE 2009**





# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

## SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

### ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 14:00 horas del día 6 del mes de Enero del 2009 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis de grado titulada:

**"CONECTIVIDAD DE LOS ARRECIFES CORALINOS  
DEL GOLFO DE MÉXICO Y CARIBE MEXICANO"**

Presentada por el alumno:

**CHÁVEZ**  
Apellido paterno

**HIDALGO**  
materno

**ALEJANDRA**  
nombre(s)

Con registro: 

A	0	7	0	2	0	7
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante al grado de:

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

### LA COMISION REVISORA

Director de tesis  
PRIMER VOCAL

MC. GUSTAVO DE LA CRUZ AGÜERO

PRESIDENTE

DR. ERNESTO AARÓN CHÁVEZ ORTIZ

SECRETARIO

DR. JOSÉ DE LA CRUZ AGÜERO

SEGUNDO VOCAL

DR. DAVID ALFARO SIQUEIROS BELTRONES

TERCER VOCAL

DR. JOHN W. TUNNELL

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE



IPN  
CICIMAR  
DIRECCION





**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL  
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 16 del mes Enero del año 2009, el (la) que suscribe ALEJANDRA CHÁVEZ HIDALGO alumno(a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS con número de registro A070207 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de: MC. GUSTAVO DE LA CRUZ AGÜERO y cede los derechos del trabajo titulado: "CONECTIVIDAD DE LOS ARRECIFES CORALINOS DEL GOLFO DE MÉXICO Y CARIBE MEXICANO" al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: achavezh@gmail.com gaguero@ipn.mx  
Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

**BIOL. MAR. ALEJANDRA CHÁVEZ HIDALGO**

*nombre y firma*



*A mi padre Ernesto A. Chávez Ortíz  
a la memoria de mi madre Esperanza Hidalgo Escalante  
a mis hermanas Gabi y Lanchi  
a mi hijo Angel  
a mi nieto Miguel Angel  
a toda mi familia*



## **Agradecimientos**

Agradezco al Instituto Politécnico Nacional por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado. De igual manera, agradezco la ayuda que el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, mediante su programa de becas de maestría, me otorgó durante dos años consecutivos.

Agradezco la formación incondicional, paciente y sin medida que me ofreció mi Director de Tesis el M. en C. Gustavo De la Cruz Agüero quien además hizo labores titánicas por rescatarme de la ignorancia.

Agradezco al Dr. Ernesto A. Chávez Ortiz como maestro, guía y especialmente como padre quien me alentó e impulsó a comenzar el posgrado, dándome la oportunidad y apoyo desmedido para culminar con este trabajo y continuar con mi preparación académica.

Agradezco a mis asesores el Dr. Ernesto A. Chávez Ortiz, al Dr. José De la Cruz Agüero, al Dr. David Alfaro Siqueiros Beltrones y al Dr. John W. Tunnell Jr., quienes aportaron información valiosa y necesaria para desarrollar mi trabajo de tesis.

De manera muy especial agradezco al Dr. Carlos González Gándara de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias y al Dr. Horacio Pérez España de la Unidad de Investigación de Ecología de Pesquerías, ambos investigadores de la Universidad Veracruzana, quienes de manera oportuna e incondicional proporcionaron las bases de datos originales que conforman parte de la información que ayudó a realizar el presente trabajo.

Agradezco al M. en C. J. Manuel Borges Souza por su paciencia y guía durante los trabajos de campo.

Agradezco a todos mis amigos y compañeros que me informaron, me formaron, me apoyaron y me alentaron a seguir, Gustavo, Minerva, J. Manuel, Dinorah, Mario, Marines, Saúl, Samuel, Pablo, Agnes, Raúl, Jorge, Isaura, Oswaldo, Irán, Gabi, Luis, Noe, Cristina, Chío, Yona, etc.



## Índice

Índice de Figuras.....	12
Índice de Tablas.....	15
Resumen.....	17
Abstract.....	19
Introducción.....	21
Antecedentes.....	23
Área de estudio.....	25
Arrecifes del Golfo de México.....	26
Arrecifes del Caribe Mexicano.....	31
Patrón general de Corrientes y Clima.....	37
Huracanes.....	39
Hipótesis.....	39
Objetivo General.....	40
Objetivos Particulares.....	40
Materiales y Métodos.....	41
Resultados.....	51
Discusión.....	97
Referencias Bibliográficas.....	116
Anexos.....	118

## Índice de Figuras

Figura 1. Área de estudio, arrecifes del Golfo de México: A) arrecifes de Isla Lobos; B) arrecife Tuxpam; C) Sistema Arrecifal Veracruzano.....	27
Figura 2. Área de estudio, arrecifes de la plataforma yucateca en el Golfo de México: A) arrecifes Triángulos; B) Cayo Arcas; C) arrecife Cayo Arenas; D) arrecife Alacranes. ....	30
Figura 3. Área de estudio, arrecifes de las costas de Quintana Roo en el Caribe mexicano: A) arrecifes de la zona Norte; B) arrecife de la zona Central; C) arrecife de la zona Sur. ....	32
Figura 4. El problema de la definición de la conectividad entre los arrecifes del Golfo de México y del Caribe Mexicano.....	40
Figura 5. Localidades del Golfo de México y Caribe mexicano con datos de corales y peces: 1. I. Lobos, 2. Tuxpam, 3. SAV, 4. Cayo Arcas, 5. Triángulos, 6. Cayo Arenas, 7. Alacranes, 8. I. Contoy, 9. I. Mujeres, 10. Pta. Nizuc, 11. Pta. Tanchacto, 12. Pta. Caracol, 13. Pto. Morelos, 14. Akumal, 15. Chemuyil, 16. Cozumel, 17. Tulum, 18. Boca Paila, 19. Pta. Yuyum, 20. Pta. Allen, 21. Tampalam, 22. El Placer, 23. Chaguay, 24. Mahahual, 25. Xahuayxol, 26. Xcalak, 27. Chinchorro.....	43
Figura 6. Distancias geográficas (km) entre localidades. Esquema general de las mediciones en el Sistema de Información Geográfica. ....	51
Figura 7. Agrupamiento entre localidades de acuerdo a la distancia geográfica expresada en kilómetros, con unión media no ponderada. ....	54
Figura 8. Velocidad de las corrientes del modelo mundial de circulación de Mariano (1995). Magnitud (cm/s) y dirección interpolados a ½ grado de resolución del original de un grado. ....	55
Figura 9. Agrupamiento de las localidades de acuerdo a la distancia en días de transporte debido a las corrientes, con unión media ponderada. ....	58
Figura 10. Agrupamiento entre localidades conforme a los factores ambientales utilizando como método la distancia Cordal y unión media no ponderada.....	60
Figura 11. Correlación de las variables ambientales con el Componente uno. ....	61
Figura 12. Correlación de las variables ambientales con el Componente dos. ....	62
Figura 13. Ordenación de las localidades con respecto a los factores ambientales por el método de Componentes Principales. Los primeros dos componentes explican el 78% de la variabilidad original. ....	63

Figura 14. Agrupamiento entre localidades (corales) a partir del Índice de Jaccard para datos de presencia/ausencia con unión media no ponderada. ....	66
Figura 15. Agrupamiento condicionado por medio de la distancia euclidiana. De derecha a izquierda: localidades del Caribe mexicano: zona Sur (S), zona Centro (C), zona Norte (N); localidades del Golfo de México: plataforma yucateca. ....	67
Figura 16. Riqueza específica de corales para localidades del Golfo de México y Caribe mexicano. ....	70
Figura 17. Agrupamiento entre localidades para corales utilizando la distancia de Manhattan con el método de Ward. ....	73
Figura 18. Agrupamiento condicionado por medio de la distancia euclidiana. De derecha a izquierda: localidades del Caribe mexicano: zona Sur (S), zona Centro (C), zona Norte (N); localidades del Golfo de México: plataforma yucateca (P) y arrecifes de Veracruz (G). ....	74
Figura 19. Dispersión de las matrices consideradas en la prueba de Mantel para corales: A) similitud biológica con la distancia geográfica; B) similitud biológica con la distancia en días de transporte; C) similitud biológica con el ambiente. ....	76
Figura 20. Dispersión y líneas de tendencia del promedio de la similitud biológica con respecto a intervalos constantes de: A) distancia geográfica (km); B) distancia en días de transporte; C) variables ambientales. ....	77
Figura 21. Dispersión de las matrices consideradas en la prueba de Mantel a partir de la diversidad beta transformada a similitud biológica: A) similitud biológica con la distancia geográfica; B) similitud biológica con la distancia en días de transporte; C) similitud biológica con las variables ambientales. ....	80
Figura 22. Análisis de ordenamiento por escalamiento no métrico (NMDS); aplicando la distancia de Manhattan para localidades con datos de corales. ....	81
Figura 23. Agrupamiento entre localidades a partir del Índice de Jaccard para datos de presencia/ausencia (peces). ....	84
Figura 24. Agrupamiento condicionado por medio de la distancia euclidiana. De derecha a izquierda: localidades del Caribe mexicano (C); localidades del Golfo de México: plataforma yucateca (P) y arrecifes de Veracruz (G). ....	85
Figura 25. Riqueza específica de peces en las localidades del Golfo de México y Caribe mexicano. ....	86
Figura 26. Agrupamiento entre localidades para peces utilizando la distancia de Manhattan con el método de Ward. ....	89

Figura 27. Agrupamiento condicionado por medio de la distancia euclidiana. De derecha a izquierda: localidades del Caribe mexicano: zona Sur (S), zona Centro (C), zona Norte (N); localidades del Golfo de México: plataforma yucateca (P) y arrecifes de Veracruz (G).....	90
Figura 28. Dispersión dentro de las matrices consideradas en la prueba de Mantel para peces: A) similitud biológica con la distancia geográfica; B) similitud biológica con la distancia en días de transporte; C) similitud biológica con el ambiente.....	92
Figura 29. Dispersión y líneas de tendencia del promedio de la similitud biológica con respecto a intervalos constantes de: A) distancia geográfica (Km); B) distancia en días de transporte; C) variables ambientales. ....	93
Figura 30. Dispersión de las matrices consideradas en la prueba de Mantel a partir de la diversidad beta transformada a similitud biológica: A) similitud biológica con la distancia geográfica; B) similitud biológica con la distancia en días de transporte; C) similitud biológica con las variables ambientales. ....	96
Figura 31. Análisis de ordenamiento por la técnica de escalamiento no métrico (NMDS) aplicando el índice de Morisita para localidades con datos de peces. ....	97
Figura 32. Relación entre similitud biológica y distancia: A) menor correlación con el SAV; B) mayor correlación sin el SAV.....	106
Figura 33. Relación entre similitud biológica con respecto a intervalos constantes de distancia: A) menor correlación con el SAV; B) mayor correlación sin el SAV.....	107
Figura 34. Impacto de huracanes representados con líneas, considerando un área con radio de 50 km alrededor de cada localidad para el período 1851-2007.....	111
Figura 35. Modelo Conceptual de la Conectividad de los arrecifes del Golfo de México y Caribe mexicano, las flechas indican la ruta de conectividad y las líneas punteadas el patrón general de las corrientes.....	113

## Índice de Tablas

Tabla 1. Fuentes de la información que conforma las bases de datos de corales y peces. Las letras corresponden a datos de: abundancias (A), presencia/ausencia (P) y los números a la fuente correspondiente citada al pie de la tabla. ....	42
Tabla 2. Matriz de distancias geográficas entre localidades del Caribe mexicano hacia el Golfo de México (continuación).....	53
Tabla 3. Matriz de distancias en días de transporte por las corrientes entre localidades del Caribe mexicano y el Golfo de México. ....	56
Tabla 4. Valores compilados de variables ambientales de los arrecifes del Golfo de México y Caribe mexicano (promedio anual). Datos del World Ocean Atlas (NOAA, 2005). ....	59
Tabla 5. Varianza explicada asociada a cada componente principal. ....	61
Tabla 6. Riqueza específica (S), géneros y familias de corales por localidad. ....	64
Tabla 7. Familias de corales frecuentes y poco frecuentes por localidad y número de especies, para datos de presencia/ausencia.....	64
Tabla 8. Prueba simple de Mantel para datos de corales, correlación entre dos matrices ( $r$ ) y su significancia estadística ( $p$ ).....	68
Tabla 9. Familias de corales frecuentes y poco frecuentes por localidad y número de especies, para datos cuantitativos. ....	68
Tabla 10. Abundancia total de las especies (corales) presentes en el Golfo de México y Caribe mexicano.....	69
Tabla 11. Índice Biológico de Sanders que indica el valor de importancia de cada especie (corales) y proporción de cada especie al total de la comunidad coralina en el Golfo de México y Caribe mexicano. ....	71
Tabla 12. Parámetros de la comunidad de corales por localidad; riqueza específica (S), diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ), equidad de Pielou (J) y redundancia (R)...	72
Tabla 13. Prueba simple y parcial de Mantel para datos cuantitativos (corales). Para cada combinación de matrices se muestra la correlación $r$ y la significancia $p$ .....	75
Tabla 14. Matriz de la Diversidad Beta entre las localidades de corales.....	78
Tabla 15. Prueba simple de Mantel para la Diversidad beta transformada a similitud (corales). Para cada combinación de matrices se muestra la correlación $r$ y la significancia estadística $p$ .....	79

Tabla 16. Riqueza específica (S), géneros y familias de peces por localidad.....	82
Tabla 17. Familias frecuentes y poco frecuentes por localidad con número de especies (peces).....	83
Tabla 18. Prueba simple de Mantel para datos de peces, correlación entre dos variables ( $r$ ) y su significancia estadística ( $p$ ).....	85
Tabla 19. Índice Biológico de Sanders que indica el valor de importancia de cada especie (peces) y proporción de cada especie al total de la comunidad coralina en el Golfo de México y Caribe mexicano.....	87
Tabla 20. Parámetros de la comunidad de peces por localidad; riqueza específica (S), diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ), equidad de Pielou (J) y redundancia (R)...	88
Tabla 21. Prueba simple y parcial de Mantel para datos cuantitativos (peces). Para cada combinación de matrices se muestra la correlación $r$ y la significancia $p$ .....	91
Tabla 22. Matriz de la Diversidad Beta entre las localidades de peces.....	94
Tabla 23. Prueba simple de Mantel para Diversidad Beta transformada a similitud (peces). Para cada combinación de matrices se muestra la correlación $r$ y la significancia estadística $p$ .....	95
Tabla 24. Frecuencia de huracanes e impacto acumulado en las regiones bajo estudio. H1..H5 es la magnitud de los huracanes de acuerdo a la escala Safir-Simpson. Se consideró el eventual impacto de los huracanes o ingreso al área de radio de 50 km alrededor de cada localidad incluida en el estadio. El impacto acumulado en cada región para el período 1851-2007 resulta de ponderar la frecuencia de huracanes por su magnitud en la escala y sumándolos por región. .	111

## **Resumen.**

Los arrecifes coralinos son sistemas abiertos con intercambio de organismos, nutrientes, contaminantes y productos reproductivos. La conectividad de los arrecifes se refiere a la exportación de una zona e importación por otra, de fases de propagación de especies que conforman estos ecosistemas. Se desconoce la posible relación entre los ecosistemas arrecifales de nuestro país, por lo que el conocimiento de su conectividad podría contribuir a su manejo y conservación. Con base en los patrones de similitud se evaluó la conectividad entre los arrecifes del Golfo de México y Caribe mexicano. Se compiló información de 48 especies de corales en 17 localidades y de 167 especies de peces en 16 localidades. Los corales tuvieron la mayor riqueza en Mahahual con 37 especies, mientras que para peces fue Tuxpam con 112 especies. La diversidad ecológica (Shannon-Wiener) para corales fue máxima en Cozumel con 4.05 bits/ind, mientras para peces Mahahual presentó la mayor diversidad con 4.85 bits/ind. Los análisis de agrupamiento con base en la distancia geográfica (km), la distancia en días de transporte debido a las corrientes, las variables ambientales y la similitud biológica entre localidades, permiten identificar tres grupos que separan los arrecifes del Caribe mexicano de los arrecifes de la Plataforma yucateca y de los del Golfo de México. Sin embargo, para corales, los arrecifes del Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) son más similares a los arrecifes del Caribe. La correlación (prueba de Mantel) de la similitud biológica con respecto a la distancia geográfica, los días de transporte por las corrientes y el ambiente, arrojó resultados significativos, corroborando que la similitud biológica disminuye al incrementarse las distancias. Se establece la hipótesis de que los arrecifes del SAV y los del Caribe son más parecidos debido a que el sur de Veracruz es ambientalmente más estable ya que es menos afectado por los huracanes, lo que propiciaría una acumulación progresiva de especies caribeñas que hace al SAV más similar al Caribe que a sus contrapartes al norte de Veracruz o de la plataforma yucateca. La correlación entre la similitud de corales con la distancia, aumenta considerablemente al eliminar al SAV de los diagramas de dispersión, ello reitera que su parecido con el Caribe es posible que no sea un artefacto en los datos. Se propone un modelo conceptual que esquematiza la conectividad de los arrecifes

del Golfo de México y del Caribe mexicano que plantea que la ruta inicia con Xcalak y/o Banco Chinchorro, continua hacia el norte hasta el Canal de Yucatán y sube a la Plataforma yucateca. De aquí diverge hacia los arrecifes del sur de la plataforma (Triángulos y Arcas) y hacia la parte occidental del Golfo de México, llegan a los arrecifes Lobos y Tuxpan, para finalmente conectar con el SAV hacia el sur. Este modelo basado en los análisis de similitud biológica concuerda y se refuerza con los patrones generales de circulación oceánica en el Golfo de México.

Palabras clave: conectividad, dispersión, arrecifes coralinos, similitud

## **Abstract.**

Coral reefs are open systems that exchange organisms, nutrients, pollutants and reproductive products. Coral reef connectivity results from the export and import of species or reproductive product between localities. Possible exchange pathways between the reef ecosystems in our country are not known; such knowledge about coral reef connectivity could contribute to its management and conservation. Based on the patterns of similarity between the reefs of the Gulf of Mexico and Mexican Caribbean, the connectivity between them was evaluated. Information for 48 coral species in 17 localities and 167 species of fish in 16 localities was compiled from different sources. Coral communities had the greatest species richness (S) in Mahahual, with 37 species, while for fish communities Tuxpam with 112 species. Ecological diversity (Shannon-Wiener) for coral was highest in Cozumel with 4.05 bits / ind, while Mahahual presented the highest fish diversity with 4.85 bits / ind. Cluster analysis based on geographic distance (km), the distance in days of oceanic currents transport, the environmental variable and biological similarity between locations, allow the identification of three groups, separating the reefs of the Mexican Caribbean, the reef of Yucatan platform and the reefs at the Western Gulf of Mexico. However, for corals communities the Veracruz Reef Sistem (VRS) are more similar to the reefs of the Mexican Caribbean. The correlation (Mantel test) of the biological similarity with the geographical distance, the days of transport by currents and the environment variable, was negative and highly significant, corroborating that biological similarity decreases with increasing distances. The hypothesis that the reefs of the VRS and the Caribbean are more similar because the southern Veracruz is less affected by hurricanes is proposed. This environmental stability would lead to an accumulation of Caribbean coral species that makes VRS more similar to the Caribbean than those from the North of Veracruz or those of the Yucatan platform. The correlation between coral communities similarity with the distance increases considerably by eliminating the VRS in scatter diagrams, supporting that its resemblance to the Caribbean may not be an artifact in the data. A conceptual model that outlines the connectivity of reefs in the Gulf of Mexico and the Mexican Caribbean is proposed. The path starts with Xcalak or Banco Chinchorro, continuing northward to the Yucatan Channel and

rises to the Yucatan platform. It diverges from here towards the reefs of the southern part of the platform (Triangles and Arcas) and towards the western Gulf of Mexico reaching the Lobos and Tuxpan reefs, to finally connect with the SAV at the south. This model is based on the analysis of biological similarity and agrees with the general pattern of ocean circulation in the Gulf of Mexico.

Keywords: connectivity, dispersal, coral reefs, similarity

## **Introducción**

Los arrecifes de coral son considerados uno de los ecosistemas de mayor diversidad en el mundo, comparables con los bosques tropicales lluviosos, caracterizados por su alta heterogeneidad y complejidad estructural, ubicándolos dentro de los ecosistemas más productivos del planeta. Son sistemas abiertos, con intercambios de organismos, nutrimentos y productos reproductivos, entre los arrecifes mismos y con otros sistemas, todos ellos mediados total o parcialmente por el flujo del agua (Margalef, 1974; Sale, 2004).

En la actualidad la investigación de los arrecifes se han venido orientando hacia la protección y conservación de sus recursos que permitan la elaboración de programas de administración y uso, por lo que es necesario el estudio del estado y condición de los mismos a partir de la descripción de las comunidades que los conforman. Dichos estudios pueden llevarse a cabo, tanto en forma cualitativa como cuantitativa, usando medidas de frecuencia como una forma rápida para describir una comunidad determinada dentro de un área de muestreo, utilizando clases de abundancia o bien, con base en áreas de muestreo determinadas utilizando atributos como la densidad, cobertura y frecuencia (Rivas-Solis, 1990).

El ecosistema arrecifal presenta una comunidad con alta estabilidad ecológica, la cual es un atributo determinado por el ambiente mismo. Las aguas tropicales se caracterizan por temperaturas altas y poco variables (promedio anual  $> 20$  °C), aguas de alta transparencia con recambio constante que favorece la concentración elevada de oxígeno y bajas concentraciones de nutrientes y donde la carga de transporte de sedimentos es baja. Su alta diversidad además de ser atribuida a la estabilidad ecológica, también es debida a los mecanismos de selección natural, encontrándose una intensa competencia interespecífica por los recursos y un aprovechamiento de todos los nichos ecológicos disponibles (Chávez & Hidalgo, 1988)

Los cambios en la complejidad de la estructura comunitaria de un arrecife por la pérdida de cualquiera de sus componentes puede provocar el deterioro del mismo, amenazando su integridad. Debido a eso, muchas de las zonas arrecifales de México

han sido declaradas Áreas Naturales Protegidas, por lo que es necesario ampliar los conocimientos acerca de su composición, estructura y funcionamiento como parte de una estrategia de manejo (Chávez & Hidalgo, 1988; Muñoz-Chagín & De la Cruz-Agüero, 1993).

Los arrecifes de coral suelen clasificarse de acuerdo con su origen, forma y cercanía a la costa, en cuatro tipos fundamentales: atolones, arrecifes de plataforma, arrecifes marginales y arrecifes de barrera. En México solo encontramos arrecifes de tipo plataforma y marginales; los primeros se caracterizan por formar un banco arrecifal que emerge del fondo marino, generalmente están alejados de la costa y forman una explanada subsuperficial que pueden o no contener uno o más cayos arenosos; así mismo, pueden contener una laguna en su interior generalmente poco profunda. Una sección transversal de un arrecife de este tipo en el Golfo de México tiene la forma de un cono truncado y su perímetro es frecuentemente elipsoidal. Los arrecifes marginales se caracterizan por estar adyacentes a la costa y están constituidos frecuentemente por un frente arrecifal que forma una rompiente o barrera y un talud que pueden alcanzar hasta más de 60 m bajo el mar; es común que la porción de la planicie arenosa con pastos marinos, algas y corales dispersos que se presenta entre la barrera y la costa se denomine laguna arrecifal. Una buena parte del llamado gran cinturón de arrecifes del Atlántico, que corre desde el noreste de la Península de Yucatán hasta Honduras es de este tipo (Chávez & Hidalgo, 1988).

La densidad de las poblaciones que ocupan los ecosistemas arrecifales depende, en parte, del esfuerzo reproductivo de las especies en áreas de producción distantes, de la eficiencia de los mecanismos de transporte en términos de la viabilidad larvaria así como de la propia capacidad reproductiva y de reclutamiento de las poblaciones locales (Roberts, 1997; Jordán-Dahlgren, 2002; Jordán-Dahlgren & Rodríguez-Martínez, 2003). Siguiendo el patrón de corrientes superficiales, se ha intentado definir las rutas de transporte que siguen las fases larvarias, dando como resultado el reconocimiento de la conectividad entre las diferentes áreas donde hay ecosistemas coralinos.

La conectividad se refiere a la exportación de una zona e importación por otra, de fases de propagación de especies que viven asociadas a los ecosistemas arrecifales, siendo un mecanismo importante para el mantenimiento de los mismos (Jordán-Dahlgren, 2002; Paris *et al.*, 2005). La conectividad en el ambiente marino también puede ser restringida o limitada por las barreras biogeográficas como sucede en los ambientes terrestres, lo cual no es fácil de discernir debido al corto tiempo de duración de las fases larvarias y a los mecanismos de dispersión por efecto de las corrientes (Thorrold, 2006).

Una manera de inferir acerca de la conectividad desde el punto de vista ecológico, es determinando la similitud entre ecosistemas a partir de la riqueza específica, del número de especies que son compartidas, de la similitud ambiental y como se relaciona ésta con la distancia geográfica. En general, aquellas comunidades que se encuentran más alejadas entre sí son las menos parecidas debido a la menor conectividad (Nenkola & White, 1999; Steinitz *et al.*, 2006).

Existen evidencias parciales de que el nivel de conectividad ecológica en los arrecifes del Golfo de México es potencialmente baja y que existen gradientes decrecientes en riqueza y abundancia de especies del Caribe mexicano al interior del Golfo de México (Jordán-Dahlgren, 2002), sin embargo, hay muy poca información al respecto; en este sentido, el conocer el grado de conectividad ecológica es un elemento fundamental para el manejo racional y la conservación de estos ecosistemas.

### **Antecedentes**

El estudio de la conectividad ecológica tiene sus inicios en los ecosistemas terrestres; mide la importancia del recambio entre las especies de dos sitios o localidades, dos tipos de comunidades o de dos paisajes. La conectividad en la forma más simple permite medir la distancia del vecino más cercano, para lo cual además se necesita medir y conocer el nivel de exportación e importación del número de individuos. Este tipo de trabajos se han venido desarrollando en la actualidad, particularmente en estudios de ecosistemas y para metapoblaciones

terrestres donde se describe la abundancia de algunas especies y los procesos para colonizar diferentes áreas (no se incluyen aquellos estudios que se refieren a la conectividad en términos del aislamiento genético).

Algunos autores describen la colonización y ocupación de bosques tropicales por diferentes especies de aves (Saari *et al.*, 1998; Brooks *et al.*, 1999). Otros describen la influencia de la colonización de especies de plantas en los patrones y procesos de la comunidad (Nekola, 1999). A nivel de estructura de metapoblaciones con base en especies de insectos, se describe como ocurre su recambio en el espacio (Menéndez & Thomas, 2000); en el mismo sentido, se han estudiado mamíferos arborícolas de selvas tropicales en el sur de África (Lawes *et al.*, 2000) o poblaciones de anfibios en Canadá (Pope *et al.*, 2000).

Para México, se pueden citar, entre otros, los trabajos Gómez de Silva (2005) quien describe la estructura comunitaria de diferentes ecosistemas (desiertos y bosques, por separado) mediante la taxocenosis de aves caracterizada por su baja diversidad y la influencia de los factores abióticos sobre esas comunidades.

Por su parte, Trejo (2005) menciona como ocurre la distribución de la vegetación en la selva baja caducifolia en México, describiendo la variación de especies en esos ecosistemas.

Existen otra serie de trabajos para el área terrestre, pudiendo decirse que son numerosos a nivel mundial; sin embargo, los estudios de la conectividad en los ecosistemas marinos son mucho menos, entre los que se puede citar el de Callum (1997), quien describe las corrientes superficiales y las rutas de dispersión que siguen las larvas de peces e invertebrados en el Mar Caribe. Por su parte, Karlson *et al.* (2007) caracterizan las rutas de dispersión de algunas especies de corales en los arrecifes del Indo-Pacífico.

Otros trabajos más recientes describen las rutas de dispersión larvaria mediante la aplicación de modelos de simulación basados en los patrones oceanográficos de la zona de estudio, tal es el caso de las investigaciones realizadas por Thorrold *et al.*

(2002), Paris & Cowen (2004), Paris *et al.* (2005) y Cowen *et al.* (2006), quienes describen los posibles patrones de dispersión de larvas de peces arrecifales en Cuba, en el oeste de Barbados, así como para el Mar Caribe, respectivamente.

Finalmente, para el ambiente marino de nuestro país solo en algunos estudios se ha considerado al Caribe mexicano y una porción de la Plataforma yucateca como parte del área de estudio de interés, tal es el caso desarrollado por Cowen *et al.* (2006) quienes a partir de un modelo estocástico de circulación Lagrangiano describen las posibles rutas de dispersión de larvas de peces, infiriendo la conectividad entre zonas arrecifales de la región. O bien como el realizado por Jordán-Dahlgren (2002) quien deduce baja conectividad con base a un estudio sinóptico de alcionarios pero con extensión geográfica limitada. Entonces debido a que aun la información existente para los ecosistemas arrecifales del Golfo de México y Caribe mexicano es escasa, se desconoce el grado de relación que existe entre ellos, por lo que el conocimiento acerca de su conectividad podría contribuir a su manejo y conservación.

### **Área de estudio**

Los sistemas arrecifales considerados en este trabajo son representativos tanto del Golfo de México como del Caribe mexicano.

El Golfo de México, es una cuenca semicerrada, conectada con el océano Atlántico a través del estrecho de Florida y con el Mar Caribe a través del canal de Yucatán (Monreal-Gómez *et al.*, 1992).

La circulación oceánica en el Golfo de México se debe principalmente al viento y al transporte de masas a través del Canal de Yucatán y del Estrecho de la Florida. El agua cálida y salina que llega por el Canal de Yucatán es llevada hacia el estrecho de la Florida siguiendo una trayectoria de lazo; esta corriente se propaga hacia el oeste a una velocidad promedio menor a 1 nudo (Monreal-Gómez & Salas de León, 1990).

Las costas del Caribe mexicano están bañadas por aguas oceánicas que forman parte del extremo noroccidental del Mar del Caimán y su parte septentrional forma parte del Canal de Yucatán. Estas aguas se caracterizan por tener gran transparencia y la corriente fluye en dirección sur-norte con velocidades promedio mayores a 2 nudos durante la mayor parte del año (Chávez & Hidalgo, 1988).

#### Arrecifes del Golfo de México

*Arrecife Lobos.* El arrecife Lobos se encuentran en las coordenadas 21° 28' de latitud Norte y 27° 13'03" longitud W, aproximadamente a 63 km al Norte del puerto de Tuxpam y aproximadamente a 10 km frente a las costas del municipio de Tamiahua en el estado de Veracruz (Castro-Aguirre & Márquez-Espinoza, 1981; Chávez *et al.*, 2007) (Figura 1A).

El arrecife Lobos es el mas grande y el mejor desarrollado de todos los arrecifes frente a la región de Tuxpam, tiene forma semilunar, su eje mayor, orientado en dirección norte-sur mide 2.25 km aproximadamente; y su anchura máxima de 1.1 km. Por su forma, el arrecife sugiere la idea de que las corrientes dominantes y los nortes ciclónicos han influido decisivamente en su desarrollo pues su máxima expresión se localiza hacia la porción sureste. Es un arrecife de plataforma, se eleva del fondo a unos 25 m aproximadamente. Tiene un cayo arenoso, la Isla Lobos, situado cerca del extremo sur que se eleva dos metros de la superficie del mar (Chávez *et al.*, 1970; Chávez *et al.*, 2007) (Figura 1A).

*Arrecife Tuxpam.* El arrecife Tuxpam forma parte del grupo de arrecifes ubicado al norte del estado de Veracruz. Tienen una estructura de origen coralino de tipo plataforma elipsoidal. Se localiza a 12 km al NE de la desembocadura del río Tuxpam, entre los 21° 01' y 21° 03' de latitud N y los 97° 12' de longitud W. Presenta un área de 1.4 km<sup>2</sup> con una llanura de 1300 m de longitud máxima, 800 m de anchura máxima y una profundidad promedio de 0.6 m (González-Gándara & González-Sansón, 1997; Chávez *et al.*, 2007) (Figura 1B).

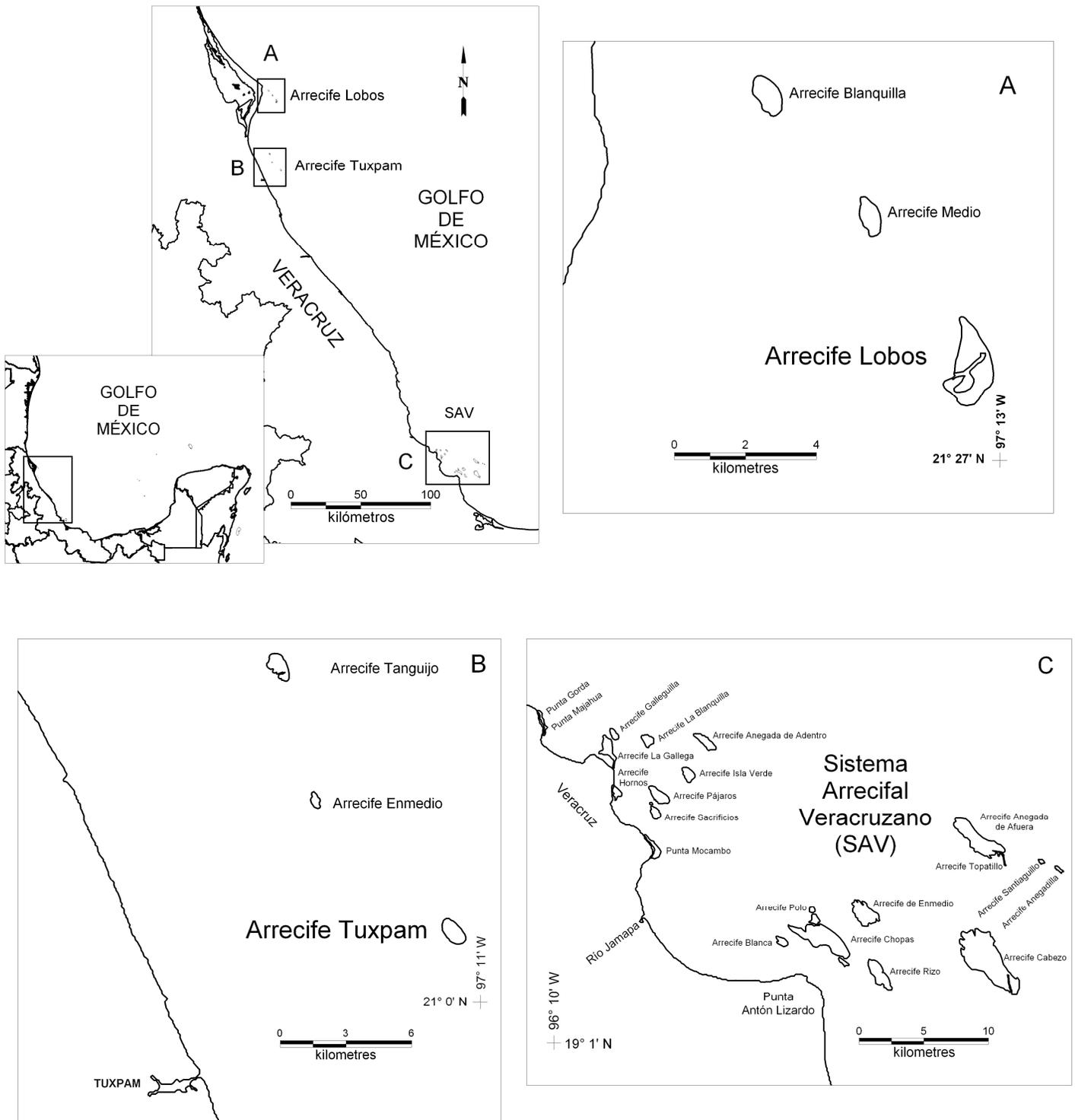


Figura 1. Área de estudio, arrecifes del Golfo de México: A) arrecifes de Isla Lobos; B) arrecife Tuxpam; C) Sistema Arrecifal Veracruzano

### Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV)

El Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) está formado por bajos, islas y arrecifes situados en la porción central de la plataforma continental en el Golfo de México. Se encuentran delimitados por los ríos La Antigua al Norte y Papaloapan al Sur. La desembocadura del río Jamapa divide al sistema en dos áreas, una frente al puerto de Veracruz y otra frente al poblado de Antón Lizardo. Esto provoca que las aguas circundantes sean turbias y poco transparentes (Gutiérrez *et al.*, 1993; Vargas-Hernández *et al.*, 1993; Horta-Puga & Carricart-Ganivet, 1993; Chávez *et al.*, 2007) (Figura 1C).

Los arrecifes del SAV son de plataforma y presentan dos formas de desarrollo: una es alargada en sentido NW-SE y otra en semicírculo con la misma orientación. Se caracterizan por tener pendientes marcadas en barlovento y en sotavento (Gutiérrez *et al.*, 1993; Vargas-Hernández *et al.*, 1993; Horta-Puga & Carricart-Ganivet, 1993; Chávez, *et al.*, 2007) (Figura 1C).

*Cayo Arcas.* El arrecife Cayo Arcas se ubica en el extremo oeste de la plataforma yucateca, presenta tres cuerpos emergentes sobre una explanada y una semilaguna superficial. La meseta arrecifal tiene una anchura de 100 m y termina en un talud abrupto en barlovento y sotavento. Las pendientes se prolongan hasta profundidades de 18 m y finalizan en una terraza arenosa. Este arrecife se ubica en los 20° 12' 55" latitud N y los 91° 58' 30" longitud W, aproximadamente a 168 km al NW de Ciudad del Carmen, frente a Laguna de Términos Campeche (Garduño-Andrade, 1988; González *et al.*, 1991; Chávez *et al.*, 2007) (Figura 2A).

*Arrecife Triángulos.* El arrecife Triángulos crece sobre una base alargada que llega hasta 20 m de profundidad. El arrecife se encuentra en los 20° 53' N y 92° 17' W, aproximadamente a 262 km al NW de Ciudad del Carmen. Mide alrededor de 2000 m de largo por 1000 m de ancho. Presenta tres arrecifes en plataforma sin laguna interior, con la porción oeste separada por un canal de alrededor de 15 m en su extremo interno y 20 m en la desembocadura (Garduño-Andrade, 1988; González *et al.*, 1991; Chávez *et al.*, 2007) (Figura 2B).

*Cayo Arenas.* El arrecife Cayo Arenas es un complejo de dos estructuras principales, que se encuentran en los 22° 07' latitud N y los 91° 23' longitud W, aproximadamente a 362 km al NW de Ciudad del Carmen. La parte mas alargada mide 4 km por 2 km en su parte mas ancha. Ambas formaciones están separadas por un canal de aproximadamente 1 km de ancho (Garduño-Andrade, 1988; González *et al.*, 1991; Chávez *et al.*, 2007) (Figura 2C).

*Arrecife Alacranes.* El arrecife Alacranes es la estructura arrecifal mas grande del Golfo de México. Se encuentra aproximadamente a 130 km al Norte del puerto de Progreso en Yucatán entre los 20° 37' y 22° 20' de latitud N y entre los 89° 35' y los 89° 52' de longitud W. En conjunto presenta una forma oval con su eje mayor orientado al Nor-noroeste con una longitud aproximada de 25 km y una anchura de 14 km. Ocupa alrededor de 40,000 hectáreas de arrecife coralino que se eleva 52 m desde su base sobre el fondo (Garduño-Andrade, 1988; Rivas-Solís, 1990; Chávez *et al.*, 2007) (Figura 2D).

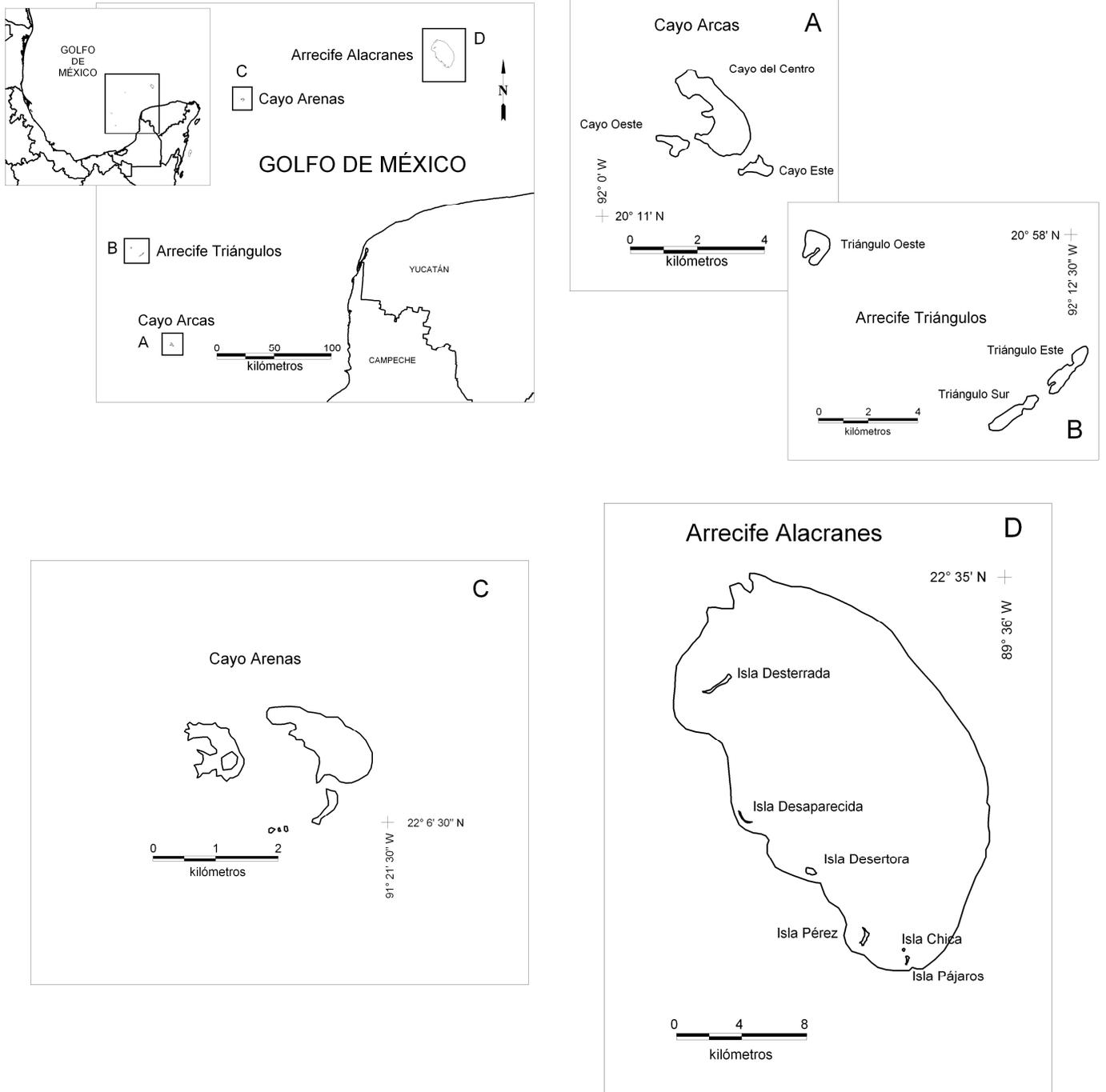


Figura 2. Área de estudio, arrecifes de la plataforma yucateca en el Golfo de México: A) arrecifes Triángulos; B) Cayo Arcas; C) arrecife Cayo Arenas; D) arrecife Alacranes.

## Arrecifes del Caribe Mexicano

La zona costera del Mar Caribe va desde Cabo Catoche en el Norte hasta Xcalak en el Sur de Quintana Roo. El suelo está formado de calizas coralíferas y sedimentos carbonatados, susceptibles a la erosión hídrica. En contraste con la porción del golfo, la plataforma continental es estrecha y homogénea, ocupada por cuencas oceánicas profundas separadas por un sistema de crestas paralelas (González *et al.*, 1991).

Las formaciones arrecifales dentro del sistema caribeño en México están relacionadas con una serie de fallas que condicionan la naturaleza del sustrato, la morfología de la costa y de la parte somera de la plataforma continental. Las bahías de la Ascensión y del Espíritu Santo son los rasgos geomorfológicos que pudieran estar marcando los límites entre las formaciones arrecifales con grados de desarrollo distintos de las secciones Norte y Sur de Quintana Roo (Hernández-Landa, 2004).

Desde las inmediaciones de Cancún, corre el llamado Gran Cinturón de Arrecifes del Caribe, que se extiende hacia el sur de manera intermitente, hasta el arrecife Xcalak, con aproximadamente 350 km de extensión. Aunque existen algunos arrecifes de tipo plataforma, como Banco Chinchorro al sur de Quintana Roo, la mayor parte de este cinturón está formado por arrecifes marginales adyacentes a la línea de la costa peninsular, separados de ésta solamente por una laguna somera de unos 8 m de profundidad y de menos de 2 o 3 km de ancho (Chávez, 1994).

*Isla Contoy.* También conocida como Isla Pájaros, se encuentra en el extremo poniente del canal de Yucatán, en el límite donde se mezclan las aguas cálidas del mar Caribe y las del Golfo de México, constituye el elemento más septentrional del sistema insular del Caribe, punto terminal del sistema arrecifal que bordea la costa oriental de la península. Es una isla pequeña decretada como Parque Nacional junto con sus inmediaciones, es de forma alargada e irregular orientada de norte a sur; se localizada a 12.8 km de la costa, a 30 km al Norte de Isla Mujeres y a 32.3 km al Este de Cabo Catoche. Sus coordenadas geográficas son 21°27'40" y 21°32'10" latitud N y 86°46'40" y 86°47'50" longitud W. El arrecife coralino se ubica al sur del parque nacional y nombrado "Ixlaché" siendo afectado por corrientes litorales permanentes,

acción del oleaje, mareas y vientos dominantes del sureste (Salazar-Vallejo *et al.*, 1993; INE-SEDESOL, 1994) (Figura 3A).

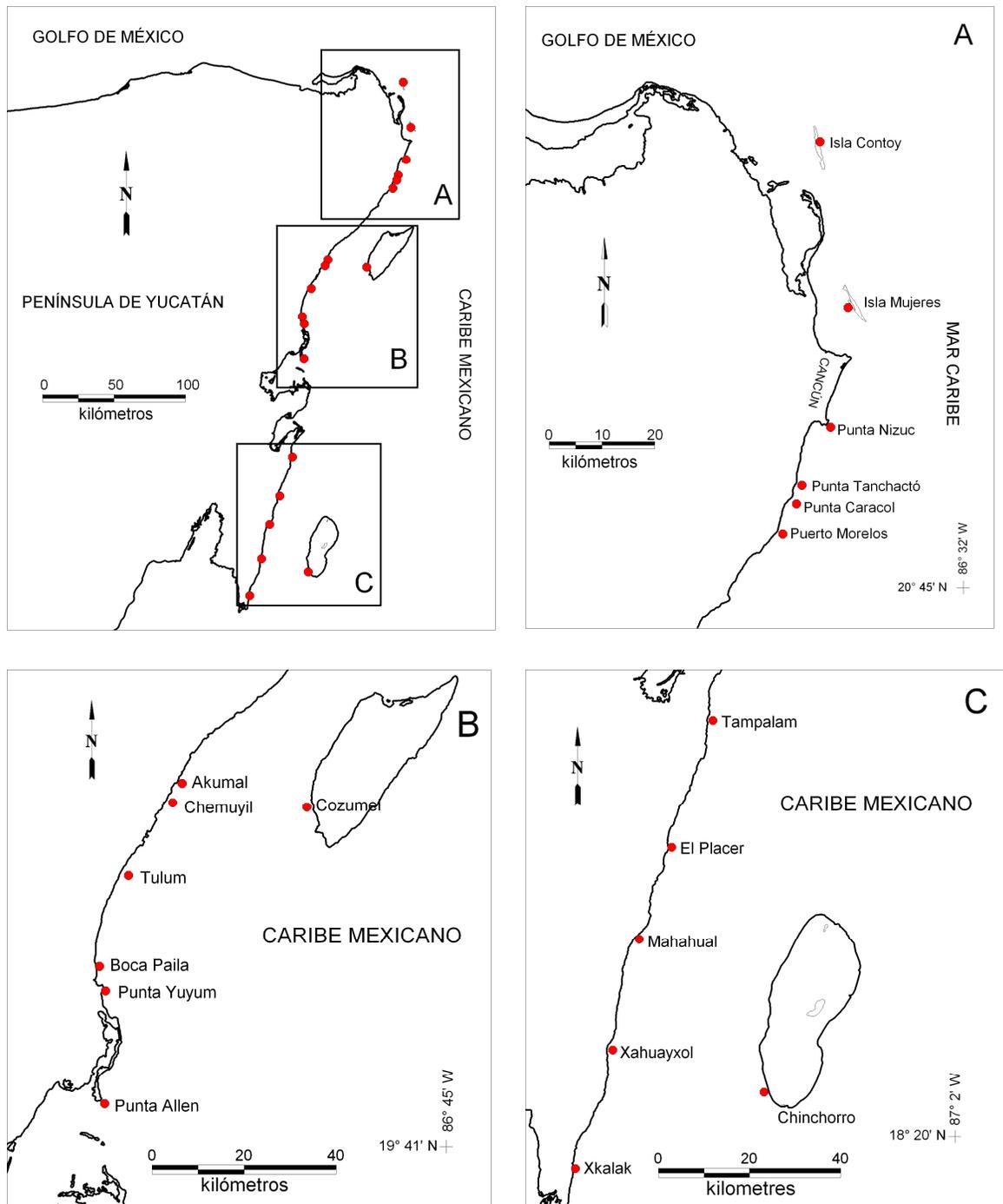


Figura 3. Área de estudio, arrecifes de las costas de Quintana Roo en el Caribe mexicano: A) arrecifes de la zona Norte; B) arrecife de la zona Central; C) arrecife de la zona Sur.

*Isla Mujeres.* Se localiza frente a las costas de los municipios Isla Mujeres y Benito Juárez aproximadamente a 10 km al Noreste de la Ciudad de Cancún entre los 21° 16' y 21° 12' latitud N y los 86° 45' 40" y 86° 42' 37" longitud W. La mayor parte de los arrecifes se desarrollan al sur de la isla a sotavento (Figura 3A).

*Punta Nizuc.* Los arrecifes de Punta Nizuc conforman uno de los tres polígonos del Parque Nacional localizado frente a las costas del municipio Benito Juárez a 12 km al sur de la Ciudad de Cancún. Se ubica entre los 21° 02' 11" y los 21° 0' 49" latitud N y entre los 86° 48' 46" y los 86° 45' 43" longitud W. Es un arrecife de tipo marginal y comprende una superficie de 2,576 ha siendo el arrecife mas desarrollado del parque. Presenta una laguna arrecifal extensa que comunica con el Sistema Lagunar Nichupté. Muestra una cresta arrecifal bien desarrollada y numerosos canales de marea que provocan su discontinuidad. El arrecife frontal se desarrolla en parches aislados, hasta una profundidad de 40 m (Patiño del Olmo, 2004) (Figura 3A).

*Punta Tanchacto.* El arrecife es de tipo marginal, presenta pequeños bajos sucesivos separados entre si hasta por 900 m. Se ubica en los 20° 55' 33" latitud N y los 86° 50' longitud W a 26 km al Sur de Cancún. La laguna es somera muy corta, dando paso a la plataforma arrecifal rápidamente y a la formación de un pequeño islote calcáreo en el margen exterior. En la zona en que la barrera es discontinua, la laguna es de entre 3 a 4 m de profundidad (INE-CONANP, 2000) (Figura 3A).

*Punta Caracol.* Este arrecife es de tipo marginal y limita al Norte con Punta Tanchacto y hacia el Sur con Puerto Morelos, aproximadamente a 29 km al sur de Cancún y a los 20° 53' 44" latitud N y los 86° 50' 41" longitud W (Figura 3A).

*Puerto Morelos.* El arrecife de Puerto Morelos es de tipo marginal, empieza justamente frente al puerto del mismo nombre y se prolonga hacia el norte por aproximadamente 2 km. Se ubica entre los 20° 51' 37" y 20° 49' 35" latitud N y entre los 86° 53' 20" y 86° 52' 0" longitud W y a 30 km al Sur de Cancún. Se encuentra sobre una terraza comprendida entre los 0 y 25 m de profundidad. En la orilla se encuentran médanos de 4 a 6 m de altura y una playa angosta de arena calcárea (Castañares, 1981; INE-CONANP, 2000) (Figura 3A).

*Akumal.* Se encuentra a 105 km al sur de Cancún Q.Roo a los 20° 24' latitud N y 87° 19' longitud W. El arrecife presenta dos lagunas arrecifales de poca profundidad, una al Sur llamada bahía de Akumal y la otra al Norte llamada bahía de la Media Luna. La primera mide 2 km de longitud y su profundidad no va más allá de los 2.5 m, mientras que la segunda mide alrededor de 0.5 km y es más somera. Ambas están limitadas hacia el mar por la cresta del arrecife y las separa un segmento de costa de aproximadamente 0.5 km, donde el arrecife se inicia desde la orilla (Chávez & Hidalgo 1988; Muños-Chaguín & De la Cruz-Agüero. 1993) (Figura 3B).

*Chemuyil.* Es un arrecife marginal que se ubica a 40 km al sur de Playa del Carmen en la costa frente a Isla Cozumel, limitado al norte por el arrecife Akumal entre los 20° 21' 27" latitud N y los 87° 19' 32" longitud W (Figura 3B).

*Isla Cozumel.* El Parque Marino Nacional Arrecifes de Cozumel se encuentra en el municipio de Cozumel, aproximadamente a 17 km de Playa del Carmen. Está separada de la costa por el canal de Yucatán en donde pasa la corriente del mismo nombre. La isla tiene aproximadamente 40 km de largo por 13 km de ancho. Tiene su eje mayor en sentido Sur-Norte y es la isla de mayor tamaño en aguas mexicanas; se ubica entre los 20° 29' 02" y 20° 15' 27" latitud N y los 86° 56' 25" y 87° 02' 25" longitud W. Los arrecifes de Cozumel se desarrollan principalmente en la porción sur del margen de sotavento, crecen en diferentes terrazas; en la parte superior se encuentran arrecifes de tipo marginal o de borde que crecen pegados a la costa a poca profundidad (INE-SEMARNAP, 1998b; Garduño-Andrade, 1988; Borges-Souza, 2003) (Figura 3B).

*Tulum.* Es un sitio arqueológico que se localiza al noreste del poblado de Tulum, aproximadamente a 59 km al sur de Playa del Carmen. Se ubica en los 20° 12' 53" latitud N y los 87° 25' 06" longitud W. El arrecife es de tipo marginal, se desarrolla frente a la playa y se caracteriza por tener una barrera profunda, con una plataforma muy breve o inexistente de 2 a 4 m de profundidad. El desarrollo de la barrera posterior es pobre en comparación con otras zonas del Caribe mexicano y la turbidez y agitación relativa en el arrecife posterior son considerablemente mayores que en

las otras localidades de la zona (Jordán-Dahlgren, 1978; Salazar-Vallejo *et al.*, 1993) (Figura 3B).

#### Reserva de la biosfera de Sian Ka'an

El arrecife de la reserva de la biosfera de Sian Ka'an abarca 110 km de longitud y su desarrollo a lo largo de la costa es muy variable. Las aguas que rodean estos arrecifes son oligotróficas, con alta transparencia y por lo tanto buena penetración de la luz con buena visibilidad hasta cerca de los 70 m de profundidad. La temperatura media del agua es de 25-30.5° C. El crecimiento coralino en esta región cubre desde la superficie hasta los 45 m de profundidad, alcanzando su máximo alrededor de los 25m. Los arrecifes bordeantes de Sian Ka'an presentan una zonación similar al patrón típico de la región caribeña, el cual consta de una laguna arrecifal, la cresta arrecifal y el arrecife frontal (Gutiérrez *et al.*, 1993; Núñez-Lara & Arias-González, 1998).

El canal o laguna arrecifal presenta una profundidad máxima de 6-8 m y una amplitud de hasta 1 km, siendo muy variable en cada lugar. El canal no existe en algunas puntas rocosas o no se encuentra bien definido y la laguna arrecifal es incipiente, tal es el caso de Punta Yuyum y Tampalam entre otras dentro de esta reserva (Gutiérrez *et al.*, 1993).

La corriente predominante en la región tiene dirección S-N aunque cerca de la costa la circulación del agua parece presentar una dirección contraria, ésta se establece entre las puntas prominentes, formando giros de forma alargada (Gutiérrez, *et al.*, 1993).

*Boca Paila, Punta Yuyum y Punta Allen.* Se encuentran al norte de Sian Ka'an y se caracterizan por tener una estrecha plataforma continental con una costa escarpada con entradas de agua dulce intermedias, los arrecifes son marginales y presentan crestas y canales bien desarrollados. Estos tres arrecifes además se distinguen del resto por tener crestas sumergidas y lagunas abiertas al océano, y por su proximidad a las bahías costeras (Ascensión y Espíritu Santo) y lagunas (Campechen, Boca Paila y San Miguel) (Ruiz-Zárte *et al.*, 2006). Estas tres localidades se ubican al sur

de Tulum; Boca Paila a 20 km aproximadamente de ese punto en los 20° 02' 05" latitud N y los 87° 28' 10" longitud W, Punta Yuyum aproximadamente a 26 km en los 19° 59' 11" latitud N y los 87° 27' 30" longitud W y Punta Allen alrededor de 50 km al sur entre los 19° 46' 03" latitud N y los 87° 27' 56" longitud W (Núñez-Lara & Arias-González, 1998) (Figura 3B).

*Tampalam.* El arrecife de Tampalam se ubica al sur de la reserva y aproximadamente a 51 km al Norte de Mahahual en los 19° 09' 12" latitud N y los 87° 31' 42" longitud W. Es el más desarrollado y de mayor complejidad en la reserva y en su extremo norte las crestas arrecifales son estrechas e inician en la misma costa (Núñez-Lara & Arias-González, 1998; Ruiz-Zárte *et al.*, 2006) (Figura 3C).

*El Placer.* También se ubica en el extremo sur de la reserva, aproximadamente a 22 km al Norte de Mahahual, con coordenadas en los 18° 54' 12" latitud N y los 87° 37' 25" longitud W. Las crestas arrecifales son estrechas e inician en la costa (Ruiz-Zárte *et al.*, 2006) (Figura 3C).

*Mahahual.* Se localiza entre los 18° 41' 45" latitud N y 87° 42' 50" longitud W y los 18° 43' 33" latitud N y 87° 42' 03" longitud W y al noreste de la Bahía de Chetumal a 67 km. Es un arrecife marginal con aproximadamente 3,600 m de longitud. Tiene una laguna arrecifal somera, definida por la presencia de una cresta ancha y profunda (Chávez & Hidalgo, 1988; Aguilar-Ontiveros, 1998; Castro-Pérez, 1998; Núñez-Lara & Arias-González, 1998; Borges-Souza, 2003) (Figura 3C).

*Xahuayxol.* Se localiza a 58 km al este de la ciudad de Chetumal y al sur de Mahahual, en los 18° 30' 15" latitud N y los 87° 44' 58" longitud W, es un arrecife marginal que se continúa hacia el sur con Xcalak (Figura 3C).

*Xcalak.* Es un arrecife marginal que se encuentra a 56 km al sureste de la ciudad de Chetumal entre los 18° 16' 14" latitud N y los 87° 49' 50" longitud W. El arrecife presenta un canal conocido en la zona como la "Poza" que corre paralelo a la línea de costa y que se continúa al sur mas allá de la frontera con Belice, esta estructura

presenta una doble formación de arrecifes coralinos con la presencia de especies que en otros sitios se encuentran a una mayor profundidad (Figura 3C).

*Banco Chinchorro.* Es el arrecife mas grande de México, mide 46 km de largo por 19.7 km de ancho, con una superficie de 144,360 ha, que incluye formaciones arrecifales, laguna arrecifal, cayos y aguas oceánicas adyacentes. Tiene una extensión que va de los 18° 47' a los 18° 22' latitud N y de los 87° 26' 46" a los 87° 13' 41" longitud W. Se encuentra a 30.8 km mar adentro del poblado costero de Mahahual y el canal que lo separa alcanza los 1000 m de profundidad. Debido a su localización, se encuentra sujeto a la influencia del ambiente marino tropical del Caribe y los factores que intervienen en su origen, desarrollo y dinámica están determinados por las corrientes oceánicas y costeras del Caribe (INE-SEMARNAP, 1998a) (Figura 3C).

Es un complejo arrecifal coralino clasificado como arrecife de plataforma que presenta tres islas en su laguna interior: cayo Norte, cayo Centro y cayo Lobos; los dos últimos están colonizados ampliamente por manglares. La barrera se forma en la parte de barlovento, con su margen superior a 1.5 m de profundidad, enseguida se desprende la barrera con zonas de crestas y canales entre los 3 y 6 metros de profundidad y que persisten hasta los 45 metros de profundidad. En la parte protegida o de sotavento (oeste) se encuentra una pendiente con gran cantidad de sedimento donde el crecimiento de corales no es tan exuberante (Garduño-Andrade, 1988; INE-SEMARNAP, 1998a) (Figura 3C).

#### Patrón general de Corrientes y Clima

El Caribe es un mar semi-cerrado adyacente a las costas de Centro y Sudamérica, sus aguas provienen del Océano Atlántico y penetran al mar Caribe a través de las Antillas Menores. El espacio de este mar se encuentra limitado por islas, bancos y bajos que conforman el Arco de las Islas Antillas que separan el Mar Caribe del Océano Atlántico (Gyory *et al.*, 2008).

Las costas de Quintana Roo están bañadas por aguas oceánicas de origen tropical-caribeño, se caracterizan por tener gran transparencia y forman parte del extremo noroccidental del Mar del Caimán. Su parte septentrional forma parte del Canal de Yucatán por donde circula una de las corrientes de frontera más dinámicas del planeta, la Corriente de Yucatán. Esta corriente aumenta su velocidad a medida que se acerca al Canal de Yucatán pudiendo alcanzar velocidades hasta 170 cm/s, formando meandros, remolinos y una estructura vertical compleja (Chávez & Hidalgo, 1988; Suarez-Morales & Rivera-Arriaga, 1998; Marín *et al.*, 2008; Gyory *et al.*, 2008).

El Golfo de México es un mar representativo de cuencas oceánicas semicerradas, se caracteriza por tener una circulación marina vigorosa sobre su plataforma continental. Los movimientos de masas de agua son inducidos por fluctuaciones estacionales de los vientos sobre la superficie del mar, que generan sobre la plataforma continental occidental una corriente de Norte a Sur en otoño e invierno (nortes) y en sentido opuesto en primavera y verano (Zavala-Hidalgo & Fernández-Eguiarte, 2004; Salas-Pérez & Granados-Barba, 2008).

Superpuesto a este flujo se observa un movimiento asociado a la presencia de giros, generalmente anticiclónicos, que se desplazan hacia el oeste del Golfo de México hasta chocar con la plataforma continental del estado de Tamaulipas, dividiéndose posteriormente en dos giros: uno que se va hacia el sur y se desplaza sobre la plataforma continental de Veracruz, el otro hacia el norte sobre la plataforma de los E.U. Estos giros se desprenden de la Corriente del Lazo cuando ésta penetra por el estrecho de Yucatán hacia el norte, girando más tarde hacia el este, posteriormente hacia el sur y luego salir por el Estrecho de Florida para integrarse a la corriente del Golfo de México (Zavala-Hidalgo & Fernández-Eguiarte, 2004; Salas-Pérez & Granados-Barba, 2008).

El régimen de vientos prevaleciente en las costas de Quintana Roo son los vientos alisios que producen un transporte intenso de agua con dirección norte. En invierno los vientos dominantes provienen del norte y el resto del año, del sureste (Suárez-Morales & Rivera-Arriaga, 1998). De la misma manera, para el Golfo de México los

vientos tienen gran importancia en la mezcla vertical, en el invierno los nortes y en el verano las tormentas tropicales y los huracanes, que hacen más profunda la capa de mezcla incorporando nutrientes a la zona fótica (Zavala-Hidalgo & Fernández-Eguiarte, 2004).

### Huracanes

Los huracanes o ciclones se caracterizan por producir vientos fuertes, oleaje riguroso, una sobreelevación del nivel del mar y lluvia abundante, los cuales afectan con diferente frecuencia e intensidad los sistemas arrecifales del Golfo de México y Caribe mexicano. Algunos de los efectos que repercuten a mayor profundidad son la resuspensión de sedimentos, el rompimiento de estructuras duras y el arrastre de fragmentos u organismos completos. El impacto de un huracán puede transformar en un día la distribución y abundancia de las especies y generar patrones muy distintos a los previos, mientras que a más largo plazo, estos eventos promueven cambios evolutivos en el ecosistema. La temporada de huracanes se extiende de junio a noviembre, con una mayor incidencia en agosto y septiembre. Presentan vientos mayores a 120 km/h, aunque pueden alcanzar los 300 km/h. El mayor daño se produce en la cresta arrecifal, que recibe el impacto directo del viento y del oleaje (Gutiérrez *et al.*, 1993; Salazar-Vallejo, 2002; Jordán-Dahlgren & Rodríguez-Martínez, 2003).

### Hipótesis

Aquellos ecosistemas que se encuentren más cercanos entre sí presentarán patrones de composición, abundancia, riqueza específica e índices de diversidad más parecidos, es decir, la conectividad entre ellos será mayor, mientras que aquellos más alejados serán menos similares y por lo tanto, tendrán menor conectividad.

Así, esperaríamos que los arrecifes de Tuxpam, sean más parecidos a los arrecifes de Veracruz, mientras que el Arrecife Alacranes será menos parecido a estos arrecifes que a aquellos que se encuentran al noreste de la península de Yucatán en el Mar Caribe. De la misma manera, el arrecife Akumal será mucho más parecido a

los arrecifes de Mahahual y Chinchorro que al arrecife Alacranes y mucho menos a los arrecifes de Veracruz (Fig. 4).

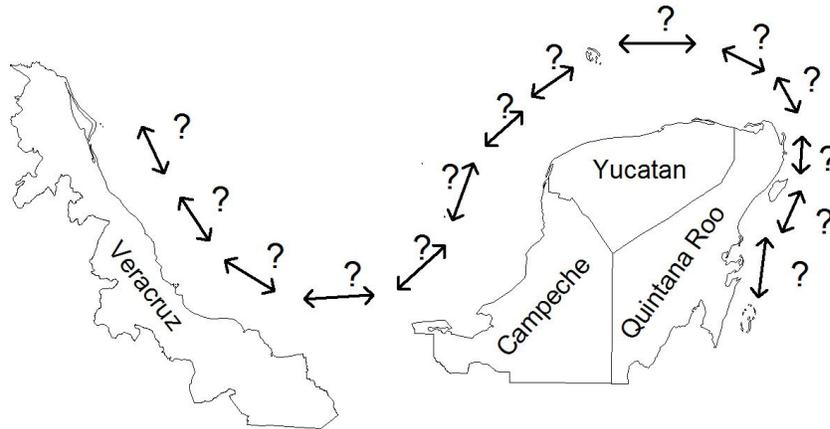


Figura 4. El problema de la definición de la conectividad entre los arrecifes del Golfo de México y del Caribe Mexicano.

### **Objetivo General**

A partir de los niveles de similitud entre las comunidades de corales y peces, se pretende definir la conectividad entre los ecosistemas arrecifales en el Golfo de México y Caribe mexicano.

### **Objetivos Particulares**

Caracterizar las comunidades arrecifales (corales y peces) en términos de su riqueza específica, abundancia, dominancia y diversidad ecológica, así como encontrar y estimar la similitud entre ellas.

Proponer un modelo conceptual de la conectividad biológica entre los arrecifes de la región.

## **Materiales y Métodos**

Se compilaron registros de especies de corales y peces arrecifales provenientes de diferentes fuentes como tesis, artículos y bases de datos electrónicas. Dichos registros conforman las bases de datos de las especies de los arrecifes coralinos del Golfo de México y Caribe mexicano considerados en este estudio.

Para corales se tienen registros en las siguientes localidades: arrecife Tuxpan (González-Gándara, 1996; Horta-Puga *et al.*, 2007) y el Sistema Arrecifal Veracruzano SAV (Gutiérrez *et al.*, 1993; AGRRA, 2006; Pérez-España, 2007 (com. per.); Horta-Puga *et al.*, 2007; Chávez *et al.*, 2007) en el estado de Veracruz; para los arrecifes Triángulos y Cayo Arenas en el estado de Campeche y Alacranes en el estado de Yucatán (Chávez *et al.*, 1985; Horta-Puga *et al.*, 2007; Chávez *et al.*, 2007). Para el estado de Quintana Roo, se tienen datos para los arrecifes de Punta Nizuc (Patiño del Olmo, 2004), Akumal (Borges-Souza, 2003; AGRRA, 2006), Chemuyil y Cozumel (Borges-Souza, 2003); Boca Paila, Punta Yuyum, Punta Allen, Tampalam, El Placer, Chaguay, Xahuayxol y Xcalak (AGRRA, 2006), así como para Mahahual (AGRRA, 2006; Aguilar-Ontiveros, 1998; Borges-Souza, 2003) y Banco Chinchorro (Chávez *et al.*, 1985; AGRRA, 2006) (Tabla 1 y Figura 5).

De los peces se tienen registros para el arrecife de Isla Lobos (Castro-Aguirre & Márquez-Espinoza, 1981; Horta-Puga *et al.*, 2007), Tuxpam (González-Gándara & González-Sansón, 1997; González-Gándara 2003; González-Gándara 2008 (com. per.); Horta-Puga *et al.*, 2007) y en el Sistema Arrecifal Veracruzano (Pérez-España, 2007; Horta-Puga *et al.*, 2007) en el estado de Veracruz; de los arrecifes Cayo Arcas, Triángulos y Cayo Arenas (Garduño-Andrade, 1988; Horta-Puga *et al.*, 2007) en el estado de Campeche; del Arrecife Alacranes (Garduño-Andrade, 1988; González-Gándara, 2001; Horta-Puga *et al.*, 2007) en el estado de Yucatán; finalmente en el estado de Quintana Roo se tienen datos de los arrecifes de Isla Contoy, Isla Mujeres, Isla Cozumel, Punta Nizuc, Punta Tanchacto, Punta Caracol, Puerto Morelos, Tulum, Punta Allen (Garduño-Andrade, 1988) Mahahual y Banco Chinchorro, (Garduño-Andrade, 1988; Castro-Pérez, 1998) (Tabla 1 y Figura 5).

Tabla 1. Fuentes de la información que conforma las bases de datos de corales y peces. Las letras corresponden a datos de: abundancias (A), presencia/ausencia (P) y los números a la fuente correspondiente citada al pie de la tabla.

Datos	Localidad	Grupo	Fuentes	Datos	Localidad	Grupo	Fuentes
A	Akumal	Corales	1, 3	A	Alacranes	Peces	7, 9, 13
A	Alacranes	Corales	6, 13	A	Cayo Arcas	Peces	7, 13
A	Boca Paila	Corales	1	A	Cayo Arenas	Peces	7, 13
A	Cayo Arenas	Corales	6, 13	A	Chinchorro Centro	Peces	7
A	Chaguay	Corales	1	A	Chinchorro Norte	Peces	7
A	Chankanaab	Corales	3	A	Chinchorro Sur	Peces	7
A	Chemuyil	Corales	3	A	Cozumel	Peces	7
A	Chinchorro	Corales	1, 6	A	Isla Contoy	Peces	7
A	Colombia	Corales	3	A	Isla Mujeres	Peces	7
A	El Placer	Corales	1	P	Lobos	Peces	4, 13
A	Mahahual	Corales	1, 2, 3	A	Mahahual	Peces	7, 5
A	Palancar	Corales	3	A	Puerto Morelos	Peces	7
A	Punta Allen	Corales	1	A	Punta Allen	Peces	7
A	Punta Nizuc	Corales	10	A	Punta Caracol	Peces	7
A	Punta Yuyum	Corales	1	A	Punta Nizuc	Peces	7
P	SAV	Corales	10, 12, 13	A	Punta Tanchacto	Peces	7
A	Tampalam	Corales	1	P	SAV	Peces	12, 13
A	Triangulos	Corales	6, 13	A	Triángulos	Peces	7, 13
P	Tuxpam	Corales	12, 13	A	Tulum	Peces	7
A	Xahuayxol	Corales	1	A	Tuxpam	Peces	8, 13
A	Xcalak	Corales	1				

1. AGRAA (2006).
2. Aguilar-Ontiveros (1998).
3. Borges-Souza (2003).
4. Castro-Aguirre & Márquez-Espinoza (1981).
5. Castro-Pérez (1998).
6. Chávez *et al.* (1985).
7. Garduño-Andrade (1988).
8. González-Gándara & González-Sansón (1997); González-Gándara (2003).
9. González-Gándara (2001).
10. Gutiérrez *et al.* (1993).
11. Patiño del Olmo (2004).
12. Pérez-España (2007).
13. Horta-Puga *et al.* (2007).

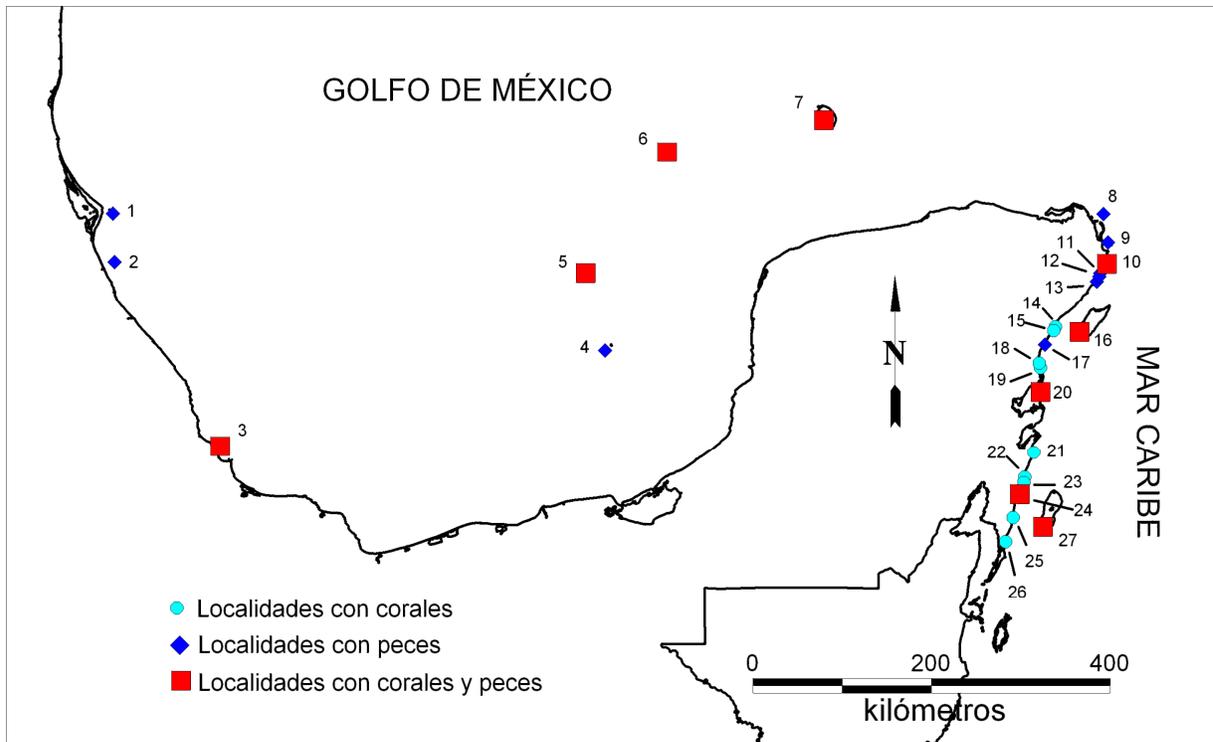


Figura 5. Localidades del Golfo de México y Caribe mexicano con datos de corales y peces: 1. I. Lobos, 2. Tuxpam, 3. SAV, 4. Cayo Arcas, 5. Triángulos, 6. Cayo Arenas, 7. Alacranes, 8. I. Contoy, 9. I. Mujeres, 10. Pta. Nizuc, 11. Pta. Tanchacto, 12. Pta. Caracol, 13. Pto. Morelos, 14. Akumal, 15. Chemuyil, 16. Cozumel, 17. Tulum, 18. Boca Paila, 19. Pta. Yuyum, 20. Pta. Allen, 21. Tampalam, 22. El Placer, 23. Chaguay, 24. Mahahual, 25. Xahuayxol, 26. Xcalak, 27. Chinchorro

Las listas de especies de corales y peces resultantes de las fuentes arriba mencionadas se depuraron y complementaron. Por ejemplo, aquellas especies que aparecieron como indeterminadas (sp.) fueron excluidas de las listas definitivas. De manera semejante, aquellas especies que se consideraron como ocasionales, que solo se les encuentra de paso y que no son de hábitos arrecifales, también fueron excluidas. Otros registros que eventualmente quedaron excluidos, fueron los de aquellas especies capturadas comercialmente en las inmediaciones de los arrecifes y que fueron reportadas durante entrevistas hechas a pescadores que se encontraban fondeados en las localidades.

Resultaron dos juegos de datos: una base con datos de presencia/ausencia y otra base con datos cuantitativos. Para uniformizar la información, los datos cuantitativos

fueron estandarizados con respecto al esfuerzo de muestreo local, convertidos a abundancias relativas y multiplicadas por 100 mil para su posterior análisis.

Las listas de especies que conforman las bases de datos fueron acomodadas en orden taxonómico y corregidas utilizando como guía de clasificación la siguiente literatura. Para el caso de corales se consultaron las obras de Human & Deloach (2002a), Veron (2000) y la base electrónica del Integrated Taxonomic Information System (ITIS). Para peces se consultó la parte correspondiente de la base de datos electrónica FISHBASE (Froese & Pauly, 2008) basada en el trabajo de Eschmeyer (1998) y la obra de Human & Deloach (2002b).

Las distancias geográficas en kilómetros fueron estimadas mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG), dando lugar a la conformación de la matriz de distancias entre todas las localidades. La distancia fue medida de una localidad a otra directamente y no como una función de su posición geográfica, de tal manera que la distancia entre las localidades más alejadas entre si, resulta de la acumulación de las distancias entre las localidades intermedias (Figura 6).

Se consideró una segunda medida de separación o distancia entre las localidades. Con base en los datos de velocidad de las corrientes del modelo mundial de circulación de Mariano (1995) se interpolaron la velocidad (cm/s) y la dirección de las corrientes a una densidad de  $\frac{1}{4}$  de grado a partir de la retícula original de un grado y los datos promedio anual. Los vectores resultantes se promediaron para el espacio entre dos localidades, para las que, considerando la distancia geográfica entre ellas (km), se obtuvo el número de días de transporte o deriva por las corrientes que tardaría una partícula en transitar de una localidad a la otra. El número de días de transporte por las corrientes entre las localidades más lejanas es el acumulado del total de días de transporte entre las localidades intermedias (Figura 8).

Ambas matrices de distancias fueron exploradas mediante la técnica aglomerativa jerárquica de clasificación por unión media no ponderada (Ludwing & Reynolds, 1988; Legendre & Legendre, 1998).

Adicionalmente, para cada localidad se tomó el promedio anual superficial de Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), Salinidad ( $\text{S}\%$ ), Oxígeno disuelto ( $\text{mg/l}$ ), Nitratos ( $\text{NO}_3$ ) ( $\mu\text{g-atN/l}$ ), Fosfatos ( $\text{PO}_4$ ) ( $\mu\text{g-atP/l}$ ) y Silicatos ( $\text{SiO}_2$ ) ( $\mu\text{g-atSi/l}$ ), interpolados a  $\frac{1}{4}$  de grado de la retícula original de un grado del atlas oceánico mundial (NOAA, 2005). Los datos de los factores ambientales se integraron en una tabla para su posterior análisis.

La afinidad entre las localidades con base en los factores ambientales fue analizada en primera instancia mediante una clasificación aglomerativa jerárquica politética basada en la distancia cordal y una estrategia de aglomeración por unión media no ponderada. Tratándose de variables de diferente naturaleza, la distancia cordal, siendo una medida de afinidad estandarizada, es análoga al coeficiente de correlación y se puede usar en estas condiciones (Legendre & Legendre, 1998; Orloci, 1978).

El patrón de variabilidad de los factores ambientales también fue explorado mediante la técnica de ordenación del análisis de componentes principales basada en la matriz de correlación (Ludwing & Reynolds, 1988; Jongman *et al.*, 1995)

La importancia de cada variable en cada uno de los dos primeros componentes principales se tomó con base en la correlación de las variables con cada componente siguiendo el enfoque propuesto por Hammer & Harper (2005).

A partir de las tablas de presencia/ausencia de especies (corales y peces), se determinaron las familias frecuentes y raras, así como la riqueza específica en las localidades. Posteriormente, se efectuaron análisis de similitud biológica de manera cualitativa aplicando los índices de Jaccard y/o Sorensen, así como empleando otros índices de similitud para su exploración (Legendre & Legendre, 1998; Nenkola & White, 1999; Steinitz *et al.*, 2006).

La clasificación se hizo empleando una estrategia aglomerativa jerárquica basada en la unión media no ponderada (Ludwing & Reynolds, 1988; Legendre & Legendre, 1998).

La correspondencia entre la similitud biológica y las distancias geográficas y de aquellas con la distancia en días de transporte se analizó tanto con una prueba simple como una prueba parcial de Mantel (1967).

La prueba de Mantel permite evaluar si los elementos de una matriz de distancias o similitudes se correlacionan con los elementos de otra matriz. El caso es que las diferentes observaciones que dan lugar a la matriz de afinidad pueden considerarse independientes; sin embargo, las combinaciones implicadas en la matriz de distancia o similitud no lo son. Debido a ello, el análisis convencional de correlación, en el que se asume que las observaciones son independientes no es aplicable para analizar la relación entre las dos matrices (Sokal & Rohlf, 1995).

La prueba de Mantel se realiza reordenando aleatoriamente los elementos de una de las dos matrices involucradas y calculando muchas veces la correlación  $r$  entre ellas. El procedimiento permite conocer la distribución aleatoria de  $r$  y contrastar cual es la probabilidad de la  $r$  observada entre las dos matrices originales, dando lugar a la prueba simple de Mantel (Manly, 1986).

En el caso de diseños espaciales, es necesario deslindar que parte de las observaciones se debe al efecto de la variable de interés (var. temperatura) con respecto a la parte inherente a la estructura espacial de las observaciones (las más cercanas se parecen más entre si que a las mas lejanas). Esto es, la distancia física o geográfica entre las observaciones puede crear una relación espuria entre dos variables que de hecho están definidas por el gradiente espacial o por una tercera variable que sigue el gradiente espacial. Para resolver si la relación de la similitud biológica con los días de transporte es legítima y no una consecuencia de la distancia (a mayor distancia se requieren más días de transporte) se realizó una prueba parcial de Mantel (Fortin & Gurevitch, 1993). La correlación parcial entre dos matrices se calcula manteniendo los efectos de la tercera matriz constantes. La consideración de una correlación espuria se tomó cuando las combinaciones de uno y otro de los pares de la relación entre la matriz “dependiente” (la similitud biológica)

y las dos “independientes” (las dos distancias) resultan con signos contrarios (Bonnet & Van de Peer, 2002; Cramer, 2003).

Para obtener la prueba simple y la parcial de Mantel se consideraron 1000 permutaciones aleatorias en cada caso y se realizaron mediante el programa “zt” (Bonnet & Van de Peer, 2002).

Se obtuvieron diagramas de dispersión con el fin de observar gráficamente el comportamiento de los pares de datos, a estos se añadieron las líneas de tendencia y el valor del coeficiente de regresión para esquematizar la correlación entre variables y entender mejor los resultados encontrados a partir de la prueba de Mantel.

El análisis de la comunidad con datos cuantitativos se hizo a partir de las tablas generadas considerando la riqueza específica, las abundancias, la dominancia con el Índice Biológico de Sanders y la diversidad ecológica con el Índice de Shannon-Wiener (Magurran, 1988; Krebs, 1989).

Con el fin de explorar la estructura multifactorial de los datos, se ensayaron varios criterios de depuración previa de los mismos de acuerdo con las recomendaciones de Field *et al.* (1982), Legendre & Legendre (1998) y Jongman *et al.* (1995). En el caso de los corales se excluyeron las especies cuya frecuencia de aparición en las localidades fue menor o igual que dos, las especies que se presentaron en todas las localidades y los sitios que se consideraron subrepresentados por tener pocas especies. Para los peces se aplicaron los mismos criterios mencionados además de excluir las especies menos calificadas de acuerdo con el índice del valor de importancia (IVI) (Mueller-Dombois & Elleberg, 1974) y las que tuvieran una abundancia relativa menor que 1000 en las tablas estandarizadas.

Los datos de abundancia fueron transformados aplicando raíz cuarta para atenuar los extremos de variabilidad y facilitar la identificación de patrones de agrupamiento al aplicar los análisis de clasificación (Field *et al.*, 1982). Primeramente se realizaron análisis convencionales de clasificación aglomerativa; jerárquica y politética para

evaluar la similitud biológica entre las localidades con base en los índices de Jaccard, Sorensen, Bray-Curtis, Morisita y otros (Legendre & Legendre, 1998; Chao *et al.*, 2005), así como mediante la aplicación de diferentes estrategias de agrupamiento (Jongman *et al.*, 1995; Wildi & Orloci, 1996; Kaufman & Rousseeuw, 2005). A partir de la coincidencia en los resultados, se identificaron las combinaciones de índices y estrategias de unión representativas para la presentación de los resultados.

En algunas ocasiones, el análisis de clasificación aglomerativo requiere que en el resultado se puedan identificar los grupos de menor afinidad pero manteniendo la secuencia de las observaciones, debido a que ésta tiene significado en la interpretación del caso. Este requerimiento es necesario cuando se analizan, por ejemplo, secuencias estratigráficas o gradientes ambientales. Con el objeto de contrastar los resultados obtenidos de los métodos convencionales de clasificación, se utilizó el método de clasificación condicionada propuesto por Grimm (1987), considerando que tenemos un gradiente o secuencia geográfica que va desde Xcalak, en el sur del Caribe mexicano, siguiendo hacia el norte de Quintana Roo, pasando por los arrecifes de la plataforma de la Península de Yucatán y terminando en la parte occidental del Golfo de México con el SAV, Tuxpam e Isla Lobos en ese orden. El método de clasificación condicionada aglomera los objetos de acuerdo con el nivel de afinidad, siempre y cuando cumplan con la condición de estar adyacentes. En la clasificación convencional la aglomeración se realiza solo considerando la afinidad, sin importar si son vecinos o no. En el caso de la clasificación condicionada se utilizó el software CONISS (Grimm, 1987).

La afinidad entre las localidades con base en los corales y los peces mostró resultados más parsimoniosos en la clasificación usando distancia de Manhattan como medida de afinidad y el método de Ward como estrategia de aglomeración (1963, citado por Legendre & Legendre, 1998; Kaufman & Rousseeuw, 2005; Hammer & Harper, 2005).

El método de Ward, también conocido como de las sumas de cuadrados tiene como objetivo minimizar la dispersión total dentro de los grupos con respecto a los centroides de los mismos. A cada etapa de aglomeración dos objetos o grupos que produzcan el menor cambio en la dispersión del grupo que se formaría son los que resultan aglomerados. Recordando que la suma de cuadrados dividida por los grados de libertad del grupo es la varianza, se entiende que el método de Ward también se conoce como de varianza mínima, suma de cuadrados, error de la suma de cuadrados o aglomeración óptima (Ward, 1963; Grimm, 1987).

Para emplear la misma estructura en las pruebas de Mantel, la matriz de distancias de Manhattan se transformó a una similitud mediante el criterio del complemento de la distancia con respecto a uno (Ludwing & Reynolds, 1988; Orloci, 1978), ajustada por un 10% del valor máximo para evitar valores de similitud de cero que equivaldría a una distancia infinita.

De esta manera la transformación de distancia a similitud es:

$$S_{jk} = 1 - \frac{d_{jk}}{\max(d_{jk})} \quad (1.1)$$

Donde  $S_{jk}$  es la similitud equivalente entre los objetos  $j$  y  $k$ :  $d_{jk}$  es la distancia entre ellos y  $\max(d_{jk})$ , es la distancia mas grande en la matriz que se transforma.

Se evaluaron la relacion entre la matriz de similitud biológica y las matrices de distancia geográfica, distancia en días de transporte y distancia ambiental mediante la prueba simple y parcial de Mantel como fue descrita anteriormente.

Para esquematizar la correlación entre las matrices se hicieron diagramas de dispersión de la similitud biológica con respecto a la distancia geográfica, la distancia en días de transporte por las corrientes y finalmente, con respecto a las variables ambientales. A las figuras se les agregaron las líneas de tendencia para ayudar a explicar los resultados de la prueba de Mantel.

Los datos de dispersión también se procesaron calculando la media de la similitud de todos los pares de localidades separadas por la misma distancia; esto es, los datos se agruparon y promediaron en términos de clases de distancia de igual intervalo siguiendo la estrategia empleada por Bell *et al.* (1993).

La similitud biológica se promedió por intervalos de 100 kilómetros para el caso de la distancia geográfica; en el caso de días de transporte, se sacaron promedios de la similitud biológica por intervalos de cinco días, mientras que para los factores ambientales, se obtuvieron promedios de la similitud biológica por intervalos de milésimos de distancia cordal.

Con el fin de conocer el recambio de especies que ocurre entre localidades, se calculó el recambio promedio de especies o diversidad beta ( $\beta_{jk}$ ), por medio de la siguiente ecuación (Wilson & Shmida, 1984):

$$\beta_{jk} = S_{gk} + S_{pk} / S_{jj} + S_{kk}$$

Donde  $S_{jj}$  es la riqueza de especies en sitio  $j$ ;  $S_{kk}$  es la riqueza de especies en el sitio  $k$ ;  $\beta_{jk}$  es el recambio promedio de especies de  $j$  a  $k$ ;  $S_{gk}$  son las especies ganadas de  $j$  a  $k$  (especies exclusivas de  $k$ ) y  $S_{pk}$  son las especies perdidas de  $j$  a  $k$  (especies exclusivas de  $j$ ).

Esta expresión de la diversidad beta se comporta como una distancia, ya que entre mayor es el recambio de especies de una localidad a otra, la similitud entre ellas será menor (Koleff, 2005). Para poder relacionar el patrón de variación de la diversidad beta con la distancia geográfica, la distancia en días y la distancia ambiental, la matriz de diversidad beta se transformó a una de similitud usando el mismo método descrito anteriormente para transformar la distancia de Manhattan a similitud. Se aplicó la prueba de Mantel y la prueba parcial de Mantel para las matrices mencionadas de la misma forma ya descrita. De la misma forma que en los casos anteriores, se hicieron los diagramas de dispersión para cada combinación de matrices, añadiendo las líneas de tendencia correspondientes (Legendre *et al.*, 2005).

Finalmente, se exploró la estructura de los datos de abundancia de corales y peces mediante el análisis multidimensional no métrico (NMDS) basado en la distancia de Manhattan. El NMDS es una técnica de ordenación indirecta cuyo resultado refleja la relación jerárquica de las distancias entre los objetos u observaciones, pero no sus magnitudes y en el se representan las afinidades en un menor número de dimensiones (Ludwing & Reynolds, 1988; Jongman *et al.*, 1995; Pielou, 1984).

Las bases de datos fueron construidas y gestionadas en hojas de cálculo de Excel. Los análisis y cálculos estadísticos fueron realizados con la ayuda del STATISTICA Ver. 7.0 (Statsoft, 2001), el PAST Ver. 1.77 (Hammer & Harper, 2005) y el ANACOM Ver. 3.0 (De la Cruz-Agüero, 1994).

## Resultados

Las distancias geográficas entre localidades en kilómetros obtenidas con ayuda del SIG fueron vaciadas en una matriz de distancias con 351 combinaciones (Tabla 2 y Figura 6).

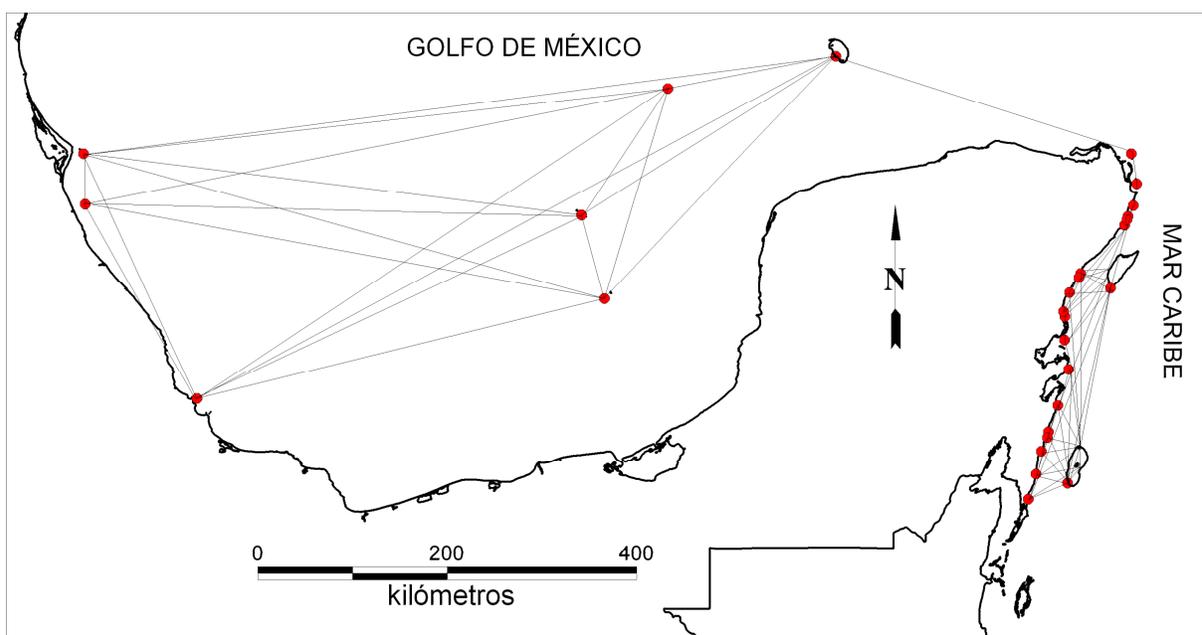


Figura 6. Distancias geográficas (km) entre localidades. Esquema general de las mediciones en el Sistema de Información Geográfica.

Tabla 2. Matriz de distancias geográficas entre localidades del Caribe mexicano hacia el Golfo de México.

	Xcalak	Xahuayxol	Chinchorro	Mahahual	Chaguay	El Placer	Tampalam	Punta Allen	Punta Yuyum	Boca Paila	Tulum	Chemuyil	Cozumel
Xcalak	0												
Xahuayxol	27.6	0											
Chinchorro	64.1	47.5	0										
Mahahual	52.8	25.2	45.1	0									
Chaguay	68.4	40.8	47.4	15.6	0								
El Placer	74.9	47.3	36.5	22.1	6.5	0							
Tampalam	104.4	76.8	69.4	51.6	36.0	29.5	0						
Punta Allen	174.9	147.3	135.4	122.1	106.5	100.0	70.5	0					
Punta Yuyum	199.7	172.1	159.5	146.9	131.3	124.8	95.3	24.8	0				
Boca Paila	205.3	177.7	165.1	152.5	136.9	130.4	100.9	30.4	5.6	0			
Tulum	226.1	198.5	184.1	173.3	157.7	151.2	121.7	51.2	26.4	20.8	0		
Chemuyil	244.7	217.1	202.7	191.9	176.3	169.8	140.3	69.8	45.0	39.4	18.6	0	
Cozumel	245.0	217.9	200.4	193.6	178.0	172.0	142.5	78.5	59.2	56.8	41.6	29.1	0
Akumal	249.5	221.9	207.5	196.7	181.1	174.6	145.1	74.6	49.8	44.2	23.4	4.8	27.2
Pto. Morelos	316.6	289.0	274.6	263.8	248.2	241.7	212.2	141.7	116.9	111.3	90.5	71.9	57.9
Pta. Caracol	323	295.4	281.0	270.2	254.6	248.1	218.6	148.1	123.3	117.7	96.9	78.3	64.3
Pta. Tanchacto	327.1	299.5	285.1	274.3	258.7	252.2	222.7	152.2	127.4	121.8	101.0	82.4	68.4
Punta Nizuc	339.4	311.8	297.4	286.6	271.0	264.5	235.0	164.5	139.7	134.1	113.3	94.7	80.7
I. Mujeres	362.2	334.6	320.2	309.4	293.8	287.3	257.8	187.3	162.5	156.9	136.1	117.5	103.5
I. Contoy	394.0	366.4	352.0	341.2	325.6	319.1	289.6	219.1	194.3	188.7	167.9	149.3	135.3
Alacranes	724.1	696.5	682.1	671.3	655.7	649.2	619.7	549.2	524.4	518.8	498.0	479.4	465.4
Cayo Arenas	899.1	871.5	857.1	846.3	830.7	824.2	794.7	724.2	699.4	693.8	673.0	654.4	640.4
Triangulos	984.0	956.4	942.0	931.2	915.6	909.1	879.6	809.1	784.3	778.7	757.9	739.3	725.3
Cayo Arcas	10040	976.4	962.0	951.2	935.6	929.1	899.6	829.1	804.3	798.7	777.9	759.3	745.3
SAV	1444.0	1416.4	1402.0	1391.2	1375.6	1369.1	1339.6	1269.1	1244.3	1238.7	1217.9	1199.3	1185.3
Tuxpam	1494.0	1466.4	1452.0	1441.2	1425.6	1419.1	1389.6	1319.1	1294.3	1288.7	1267.9	1249.3	1235.3
Lobos	1504.0	1476.4	1462.0	1451.2	1435.6	1429.1	1399.6	1329.1	1304.3	1298.7	1277.9	1259.3	1245.3

Tabla 2. Matriz de distancias geográficas entre localidades del Caribe mexicano hacia el Golfo de México (continuación).

	Akumal	Pto. Morelos	Pta. Caracol	Pta. Tanchactó	Punta Nizuc	I. Mujeres	I. Contoy	Alacranes	Cayo Arenas	Triangulos	Cayo Arcas	SAV	Tuxpam	Lobos
Akumal	0													
Pto. Morelos	67.1	0												
Pta. Caracol	73.5	6.4	0											
Pta. Tanchactó	77.6	10.5	4.1	0										
Punta Nizuc	89.9	22.8	16.4	12.3	0									
I. Mujeres	112.7	45.6	39.2	35.1	22.8	0								
I. Contoy	144.5	77.4	71.0	66.9	54.6	31.8	0							
Alacranes	474.6	407.5	401.1	397.0	384.7	361.9	330.1	0						
Cayo Arenas	649.6	582.5	576.1	572.0	559.7	536.9	505.1	175.0	0					
Triangulos	734.5	667.4	661.0	656.9	644.6	621.8	590.0	310.0	159.2	0				
Cayo Arcas	754.5	687.4	681.0	676.9	664.6	641.8	610.0	350.0	228.6	89.1	0			
SAV	1194.5	1127.4	1121.0	1116.9	1104.6	1081.8	1050.0	790.0	580.0	440.0	440.0	0		
Tuxpam	1244.5	1177.4	1171.0	1166.9	1154.6	1131.8	1100.0	820.0	610.0	510.0	550.0	233.6	0	
Lobos	1254.5	1187.4	1181.0	1176.9	1164.6	1141.8	1110.0	830.0	600.0	520.0	560.0	286.2	52.6	0

Con base en el análisis de clasificación de la distancia geográfica que las separa, el patrón de agrupamiento encontrado permite interpretar dos grupos principales: en el primero de ellos se pueden identificar las localidades del Caribe mexicano en donde se forman tres subgrupos, dos de ellos se unen con mayor afinidad e incluyen a los arrecifes de la zona norte (Punta Caracol, Punta Tanchacto, Puerto Morelos, Punta Nizuc, I. Mujeres e I. Contoy) y a los de la zona centro (Punta Yuyum, Boca Paila, Punta Allen, Chemuyil, Akumal, Tulum y Cozumel), a los que se agregan con menor afinidad los del subgrupo de la zona sur (El Placer, Chaguay, Mahahual, Tampalam, Chinchorro, Xahuayxol y Xcalak). En el segundo grupo se identifican los arrecifes del Golfo de México en el que se separan como subgrupo los arrecifes de Veracruz (Lobos, Tuxpam y el SAV) de los de la Plataforma yucateca (Cayo Arcas, Triángulos, Cayo Arenas y Alacranes) (Figura 7).

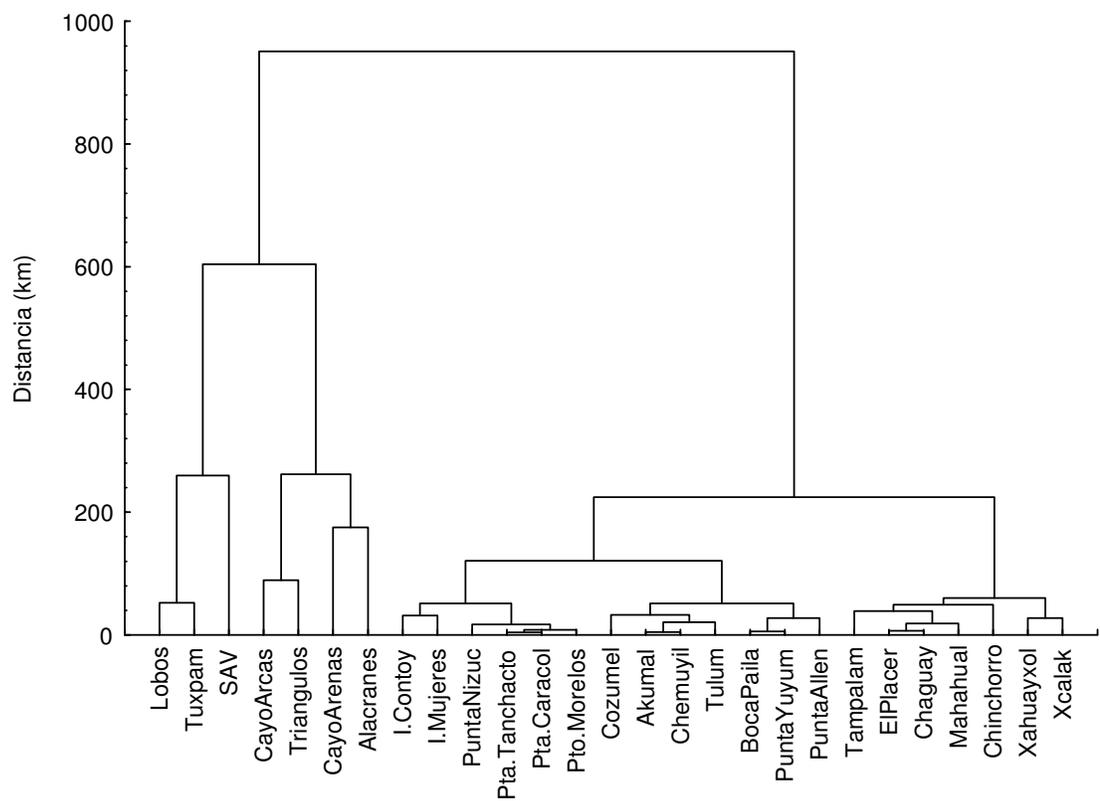


Figura 7. Agrupamiento entre localidades de acuerdo a la distancia geográfica expresada en kilómetros, con unión media no ponderada.

Las distancias en días de deriva o transporte debido a las corrientes fueron vaciadas en una matriz de distancias con 351 combinaciones (Figura 8 y Tabla 3).

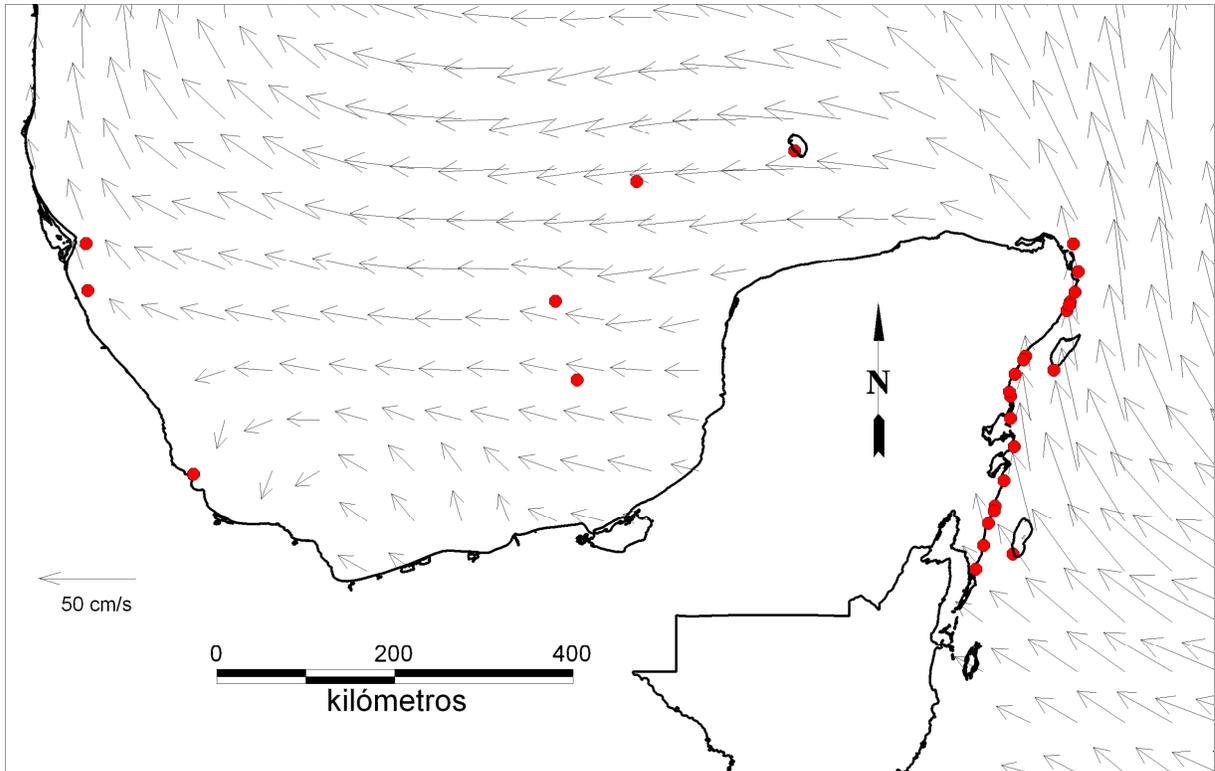


Figura 8. Velocidad de las corrientes del modelo mundial de circulación de Mariano (1995). Magnitud (cm/s) y dirección interpolados a  $\frac{1}{2}$  grado de resolución del original de un grado.

Tabla 3. Matriz de distancias en días de transporte por las corrientes entre localidades del Caribe mexicano y el Golfo de México.

	Xcalak	Xahuayxol	Chinchorro	Mahahual	Chaguay	ElPlacer	Tampalam	PuntaAllen	PuntaYuyum	BocaPaila	Tulum	Chemuyil	Cozumel	Akumal	Pto.Morelos	Pta.Caracol	Pta.Tanchacto	PuntaNizuc	
Xcalak	0																		
Xahuayxol	3.01	0																	
Chinchorro	1.62	4.10	0																
Mahahual	3.76	0.75	1.75	0															
Chaguay	6.14	3.12	1.83	2.38	0														
ElPlacer	7.13	4.11	1.41	3.37	0.99	0													
Tampalam	11.62	8.60	1.95	7.86	5.48	4.49	0												
PuntaAllen	14.41	11.40	4.00	10.65	8.28	7.29	2.80	0											
PuntaYuyum	15.15	12.14	4.71	11.39	9.02	8.03	3.53	0.74	0										
BocaPaila	15.42	12.40	4.87	11.66	9.28	8.29	3.80	1.00	0.27	0									
Tulum	16.41	13.39	6.48	12.65	10.27	9.28	4.79	1.99	1.25	0.99	0								
Chemuyil	18.18	15.17	8.26	14.42	12.05	11.06	6.57	3.77	3.03	2.77	1.78	0							
Cozumel	18.62	15.57	3.87	14.75	12.38	11.37	6.91	3.76	2.65	2.23	1.00	2.76	0						
Akumal	18.64	15.63	8.71	14.88	12.50	11.51	7.02	4.23	3.49	3.22	2.23	0.46	2.58	0					
Pto.Morelos	25.06	22.04	15.13	21.30	18.92	17.93	13.44	10.64	9.91	9.64	8.65	6.87	1.92	6.42	0				
Pta.Caracol	25.37	22.36	15.44	21.61	19.24	18.25	13.76	10.96	10.22	9.95	8.97	7.19	2.24	6.73	0.32	0			
Pta.Tanchacto	25.58	22.56	15.65	21.82	19.44	18.45	13.96	11.16	10.42	10.16	9.17	7.39	2.44	6.94	0.52	0.20	0		
PuntaNizuc	26.18	23.17	16.25	22.42	20.05	19.06	14.56	11.77	11.03	10.76	9.78	8.00	3.04	7.54	1.12	0.81	0.61	0	
I.Mujeres	27.30	24.29	17.38	23.54	21.17	20.18	15.69	12.89	12.15	11.89	10.90	9.12	4.17	8.66	2.25	1.93	1.73	1.12	
I.Contoy	28.32	25.30	18.39	24.56	22.18	21.19	16.70	13.90	13.17	12.90	11.91	10.13	5.18	9.68	3.26	2.94	2.74	2.14	
Alacranes	38.62	35.60	28.69	34.86	32.48	31.49	27.00	24.20	23.46	23.20	22.21	20.43	15.48	19.98	13.56	13.24	13.04	12.43	
CayoArenas	43.63	40.62	33.70	39.87	37.49	36.50	32.01	29.22	28.48	28.21	27.22	25.45	20.49	24.99	18.57	18.26	18.05	17.45	
Triangulos	52.62	49.61	42.69	48.86	46.48	45.49	41.00	38.21	37.47	37.20	36.21	34.43	29.48	33.98	27.56	27.25	27.04	26.44	
CayoArcas	59.70	56.68	49.77	55.94	53.56	52.57	48.08	45.28	44.54	44.28	43.29	41.51	36.56	41.06	34.64	34.32	34.12	33.52	
SAV	101.78	98.77	91.86	98.02	95.65	94.66	90.17	87.37	86.63	86.37	85.38	83.60	78.65	83.14	76.73	76.41	76.21	75.60	
Tuxpam	85.41	82.40	75.48	81.65	79.28	78.29	73.79	71.00	70.26	69.99	69.01	67.23	62.27	66.77	60.35	60.04	59.84	59.23	
Lobos	88.23	85.22	78.30	84.47	82.10	81.11	76.61	73.82	73.08	72.81	71.83	70.05	65.09	69.59	63.17	62.86	62.66	62.05	

Tabla 3. Matriz de distancias en días de transporte por las corrientes entre localidades del Caribe mexicano hacia el Golfo de México (continuación).

	PuntaNizuc	I. Mujeres	I. Contoy	Alacranes	CayoArenas	Triangulos	CayoArcas	SAV	Tuxpam	Lobos
PuntaNizuc	0									
I. Mujeres	1.12	0								
I. Contoy	2.14	1.01	0							
Alacranes	12.43	11.31	10.30	0						
CayoArenas	17.45	16.33	15.31	5.01	0					
Triangulos	26.44	25.32	24.30	12.00	5.39	0				
CayoArcas	33.52	32.39	31.38	19.48	9.98	7.99	0			
SAV	75.60	74.48	73.47	61.56	41.96	39.48	42.09	0		
Tuxpam	59.23	58.11	57.09	44.79	36.02	32.79	50.52	30.04	0	
Lobos	62.05	60.93	59.91	47.61	37.34	35.61	86.78	36.25	6.21	0

A partir del análisis de clasificación se encontraron tres grupos principales, en el primero se unen los arrecifes del Caribe mexicano, en el segundo los de la Plataforma yucateca y en el tercero los arrecifes de Veracruz en el Golfo de México. Dentro del Caribe mexicano se puede identificar tres zonas: los arrecifes de la zona Norte (Pta. Caracol, Pta. Tanchacto, Puerto Morelos, Pta. Nizuc, I. Mujeres e I. Contoy), los de la zona centro (Punta Yuyum, Boca Paila, Pta. Allen, Tulum, Cozumel, Chemuyil, Akumal y Tampalam) y los de la zona sur (Mahahual, Xahuayxol, Chinchorro, Xcalak, Chaguay y El Placer) (Figura 9).

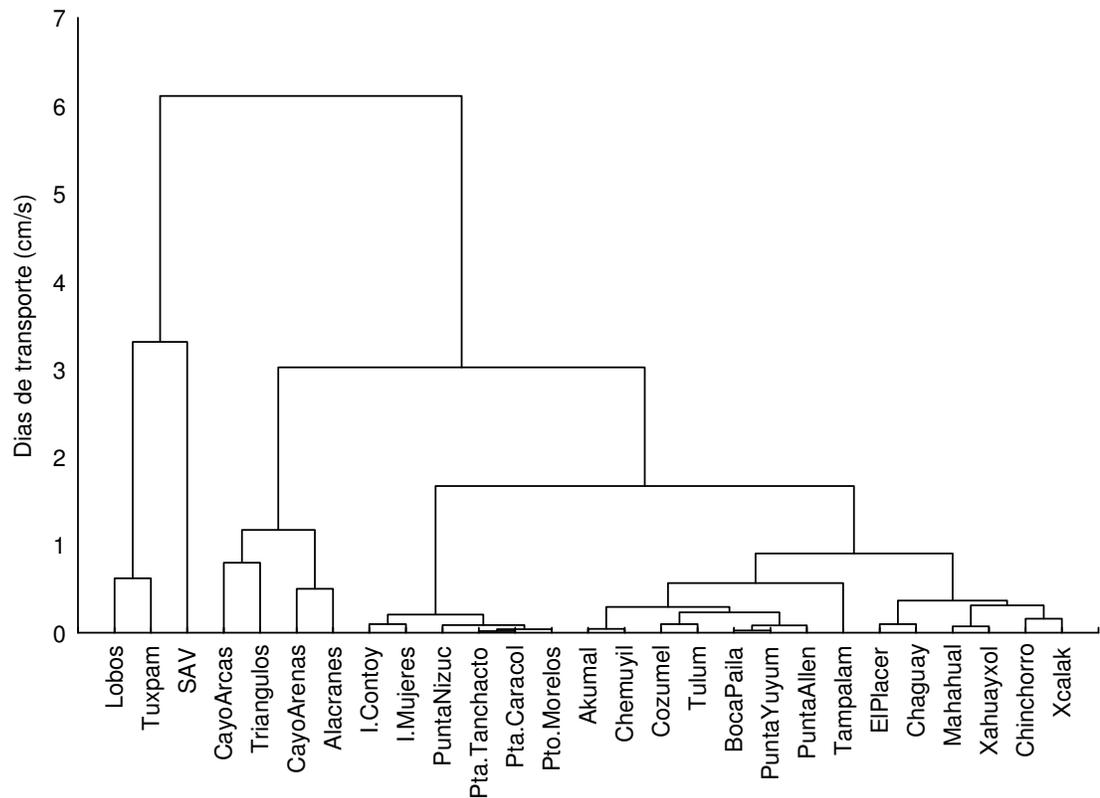


Figura 9. Agrupamiento de las localidades de acuerdo a la distancia en días de transporte debido a las corrientes, con unión media ponderada.

Tabla 4. Valores compilados de variables ambientales de los arrecifes del Golfo de México y Caribe mexicano (promedio anual). Datos del World Ocean Atlas (NOAA, 2005).

Región		Localidad	Temperatura °C	Salinidad ‰	Oxígeno mg/l	Nitratos µg/-atN/l	Fosfatos µg/-atP/l	Silicatos µg/-atSi/l
Golfo de México	Veracruz	I.Lobos	26.17	36.22	4.49	0.20	0.21	0.77
		Tuxpam	26.15	36.19	4.49	0.15	0.23	0.83
		SAV	26.35	35.80	4.55	0.02	0.34	0.81
	Plataforma Yucateca	CayoArcas	26.71	36.25	4.41	0.22	0.23	1.61
		Triángulos	26.60	36.35	4.46	0.32	0.24	1.55
		CayoArenas	26.32	36.44	4.53	0.52	0.22	1.61
		Alacranes	25.97	36.43	4.60	0.64	0.20	1.76
Caribe Mexicano	Caribe Norte	I.Contoy	26.98	36.01	4.61	0.54	0.16	1.58
		I.Mujeres	27.01	35.99	4.61	0.53	0.17	1.54
		PuntanNizuc	27.29	35.89	4.61	0.52	0.19	1.49
		Tanchacto	27.28	35.87	4.60	0.51	0.19	1.46
		PuntaCaracol	27.28	35.87	4.60	0.51	0.19	1.46
		P.Morelos	27.28	35.87	4.60	0.51	0.19	1.46
		Caribe Centro	Cozumel	27.66	35.76	4.59	0.45	0.20
	Akumal		27.51	35.74	4.60	0.40	0.20	1.38
	Chemuyil		27.51	35.74	4.60	0.40	0.20	1.38
	Tulum		27.69	35.72	4.58	0.35	0.20	1.31
	BocaPaila		27.69	35.72	4.58	0.35	0.20	1.31
	PuntaYuyum		27.72	35.71	4.58	0.31	0.21	1.28
	Caribe Sur	PuntaAllen	27.72	35.71	4.57	0.25	0.21	1.21
		Tampalam	27.69	35.74	4.52	0.22	0.21	1.14
		EIPlacer	27.72	35.76	4.48	0.24	0.21	1.12
		Chaguay	27.72	35.76	4.48	0.24	0.21	1.12
		Mahahual	27.76	35.77	4.47	0.26	0.21	1.11
Chinchorro		27.76	35.81	4.45	0.28	0.20	1.18	
Xahuayxol		27.80	35.78	4.44	0.25	0.21	1.11	
Xcalak	27.81	35.79	4.41	0.24	0.20	1.12		

El resultado del agrupamiento entre localidades por su afinidad con respecto a las variables ambientales (Tabla 4), permite distinguir dos grupos principales; el primero conformado por las localidades del Caribe mexicano que se separan en dos subgrupos, por un lado los arrecifes de la zona sur (Mahahual, El Placer, Chaguay, Xahuayxol, Xcalak y Chinchorro) que son los más afines entre sí. Los arrecifes de la zona centro (Tulum, Boca Paila, Punta Yuyum y Punta Allen) que son más afines a los arrecifes de la zona sur, mientras Cozumel, Akumal y Chemuyil, difieren más de los anteriores. Por su parte los arrecifes de la zona norte (I. Mujeres e I. Contoy, que se unen con Punta Nizuc y Tanchacto - Punta Caracol – P. Morelos) son el subgrupo menos afín de los arrecifes del Caribe mexicano (Figura 10).

El segundo grupo se encuentra conformado por los arrecifes del Golfo de México que se separa en dos subgrupos; en el primero aparecen los arrecifes veracruzanos donde el SAV difiere de los arrecifes Lobos y Tuxpam que tienen entre si una afinidad mas estrecha. En el segundo subgrupo se encuentran los arrecifes de la plataforma yucateca donde Cayo Arcas y Triángulos muestran mayor afinidad entre si que los arrecifes Cayo Arenas y Alacranes; sin embargo, los dos primeros arrecifes difieren de los dos últimos con mayor amplitud que la diferencia encontrada entre los arrecifes de Veracruz (Figura 10).

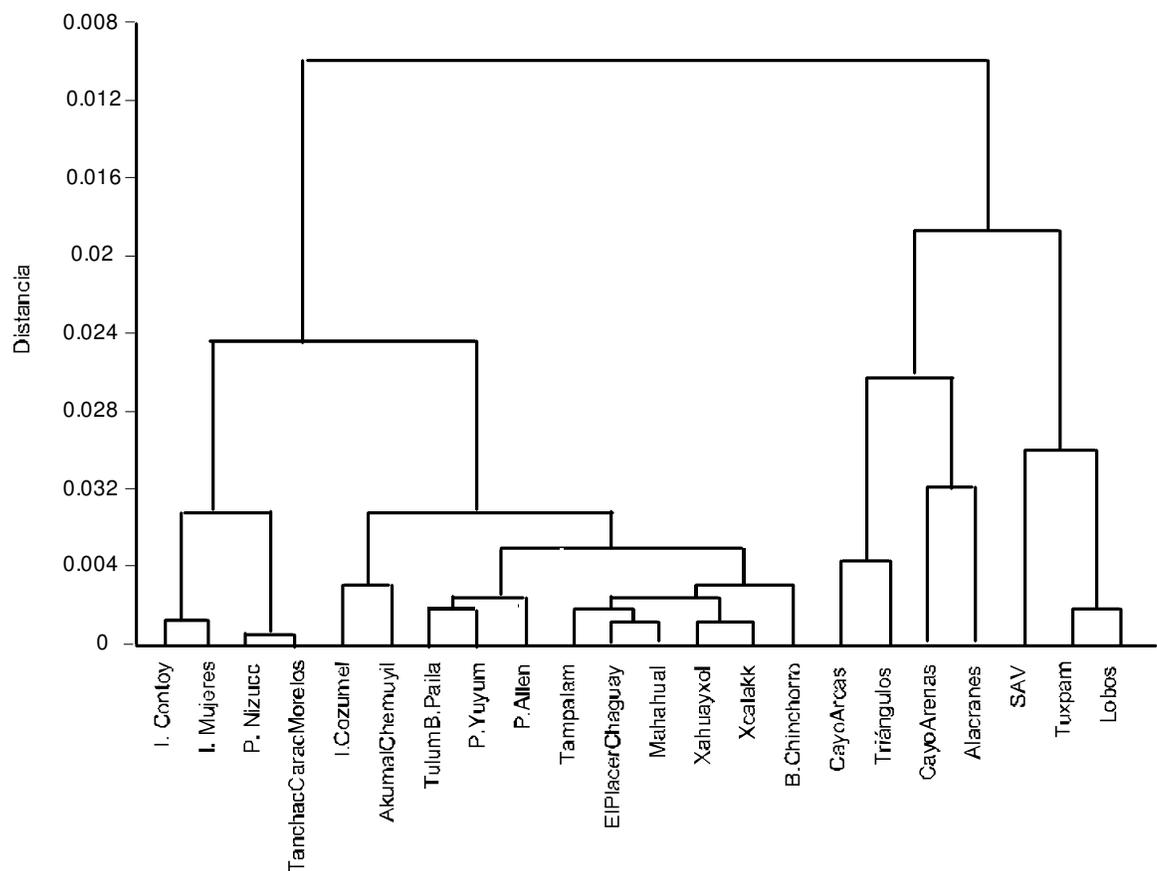


Figura 10. Agrupamiento entre localidades conforme a los factores ambientales utilizando como método la distancia Cordal y unión media no ponderada.

El análisis de ordenación por el método de componentes principales de las localidades con respecto a los factores ambientales indica que los primeros dos componentes explican el 78.60 % de la varianza total (Tabla 5).

Tabla 5. Varianza explicada asociada a cada componente principal.

Componente Principal	% varianza
1	45.722
2	32.884
3	13.772
4	6.4308
5	0.96197
6	0.22992

Los Nitratos y los Silicatos se correlacionan positivamente con el componente uno, mientras que la Temperatura lo hace negativamente (Figura 11).

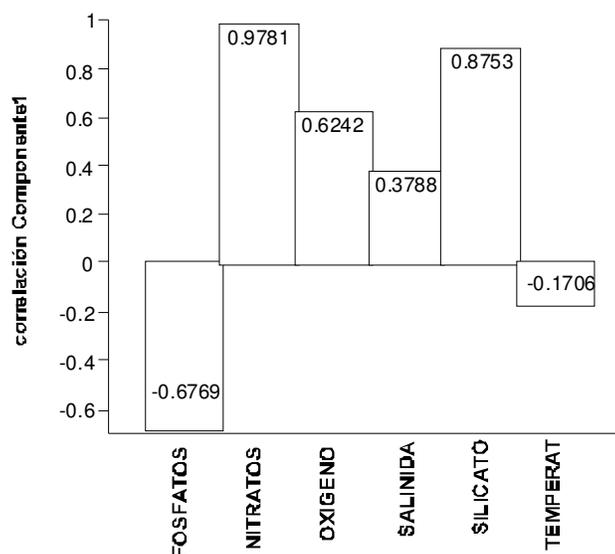


Figura 11. Correlación de las variables ambientales con el Componente uno.

Para la componente dos la Salinidad se correlaciona positivamente, mientras que la Temperatura lo hace de manera negativa (Figura 12).

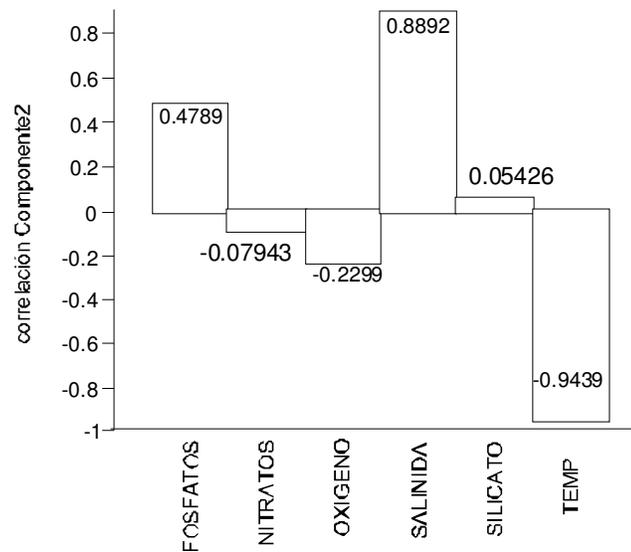


Figura 12. Correlación de las variables ambientales con el Componente dos.

El espacio de ordenación definido por los dos primeros componentes, muestra el patrón de variación reflejado en la posición de cada localidad. Con respecto al primer eje, tanto los arrecifes de la región sur y centro del Caribe mexicano, junto con los arrecifes del Golfo de México se sitúan hacia el extremo izquierdo y se caracterizaron por tener valores bajos de Nitratos y Silicatos y relativamente altos de fosfatos, siendo los arrecifes del SAV y los de la porción sur del Caribe los de las mayores concentraciones, por lo cual se ubicaron hacia la zona más alejada de la componente uno. En el otro extremo del eje, las localidades más al oriente de la Plataforma yucateca (Cayo Arenas y Alacranes), junto con los arrecifes de la región norte del Caribe mexicano mostraron las concentraciones más altas de Nitratos y Silicatos (Tabla 4 y Figura 13).

Con respecto al segundo eje de variación, se infiere que las localidades del Caribe mexicano se caracterizan por tener aguas con temperaturas superficiales más cálidas pero menos salada, mientras que las localidades en el Golfo de México, tienen mayor salinidad y menor temperatura (Tabla 4 y Figura 13).

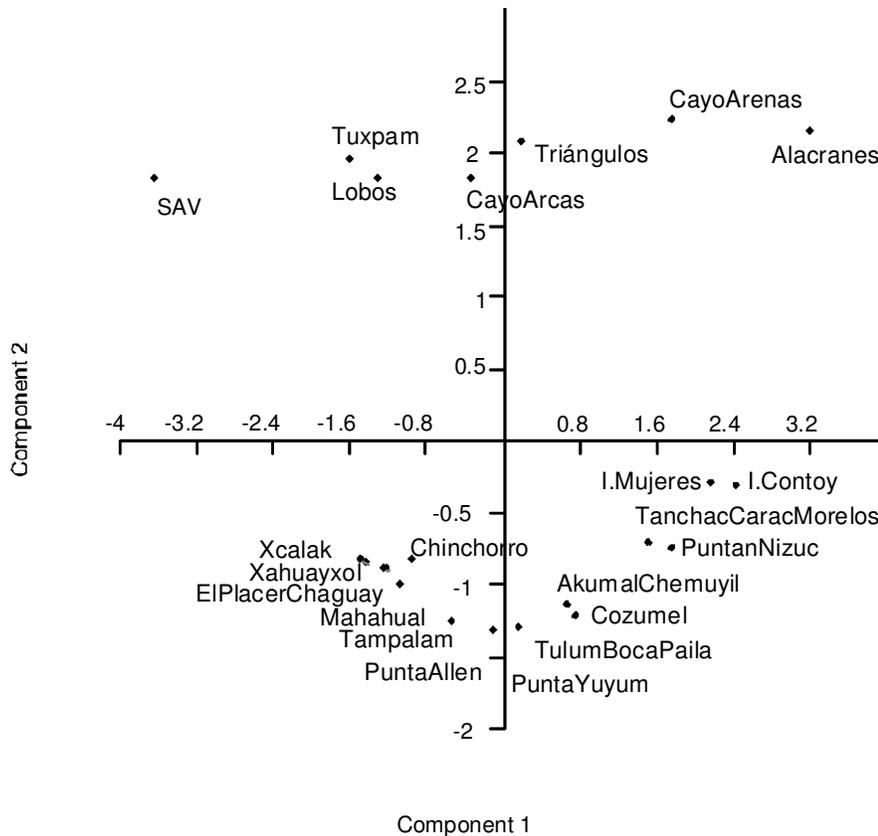


Figura 13. Ordenación de las localidades con respecto a los factores ambientales por el método de Componentes Principales. Los primeros dos componentes explican el 78% de la variabilidad original.

### Corales

Para corales se compiló información sobre la presencia/ausencia de 55 especies, pertenecientes a 25 géneros y 11 familias en 19 localidades, pertenecientes al Orden Scleractinia, a la Clase Anthozoa y al Phylum Cnidaria, el elenco taxonómico se presenta en el Anexo A.1.

La distribución de la riqueza específica indica que el arrecife de Mahahual mostró la más alta, con 38 especies y 22 géneros pertenecientes a 11 familias, seguida de los arrecifes del SAV con 34 especies y 20 géneros en 11 familias y Cozumel con 33 especies y 18 géneros en 10 familias, mientras la menor fue para Triángulos con 10 especies y 8 géneros pertenecientes a 6 familias, seguida de Boca Paila con 13 especies, 8 géneros y 6 familias y Cayo Arenas con 13 especies, 10 géneros y 6 familias (Anexo A.11 y Tabla 6).

Tabla 6. Riqueza específica (S), géneros y familias de corales por localidad.

Localidades	No familias	No géneros	S
Mahahual	11	22	38
SAV	11	20	34
Cozumel	10	18	33
Akumal	9	14	27
PuntaNizuc	9	15	26
Tuxpam	9	13	22
Chinchorro	7	10	20
Chemuyil	8	12	20
Xcalak	7	9	18
EIPlacer	8	11	18
Alacranes	7	11	18
Chaguay	7	10	17
Tampalam	9	12	17
PuntaAllen	6	8	16
PuntaYuyum	7	9	16
Xahuayxol	6	8	14
CayoArenas	6	10	13
BocaPaila	6	8	13
Triángulos	6	8	10

La Familia Faviidae mostró 13 especies y estuvo presente en todas las localidades, mientras la Familia Poritidae que también estuvo presente en todas las localidades, solo tuvo cinco especies. Otras familias como Acroporidae y Siderastreidae estuvieron presentes en 18 localidades, pero con solo dos y tres especies respectivamente. Las menos frecuentes y ambas con solo dos especies fueron Astrocoeniidae presente en cinco localidades y la Familia Oculinidae presente en tres localidades. De manera general, por localidad podríamos esperar en promedio 20 especies (Tabla 7).

Tabla 7. Familias de corales frecuentes y poco frecuentes por localidad y número de especies, para datos de presencia/ausencia.

Familia	No especies	No localidades
Faviidae	13	19
Agariciidae	7	19
Poritidae	5	19
Acroporidae	3	18
Siderastreidae	2	18
Meandrinidae	3	15
Mussidae	10	12
Caryophylliidae	3	11
Pocilloporidae	3	10
Astrocoeniidae	2	5
Oculinidae	2	3

Dentro de la Familia Faviidae, las especies *Montastraea annularis*, *Montastraea cavernosa*, *Diploria labyrinthiformis*, *Colpophyllia natans*, *Diploria strigosa* y *Diploria clivosa* fueron las más frecuentes. Por su parte para la Familia Poritidae, las especies *Porites asteroides* y *Porites porites* fueron las más frecuentes. Otras especies frecuentes fueron *Acropora palmata* de la Familia Acroporidae y *Siderastrea siderea* de la Familia Siderastreidae (Tabla 7).

Las familias poco comunes fueron Oculinidae y Astrocoeniidae; para el primer caso solo fue registrada en Mahahual en el Caribe mexicano y en el SAV y Tuxpam en el Golfo de México con dos especies; *Oculina diffusa* presente en las tres localidades y *Oculina valenciennesi* como especie rara solo presente en el SAV. En el segundo caso, la Familia Astrocoeniidae también presenta dos especies; *Stephanocoenia michelini* se encontró en Mahahual, Cozumel, Akumal y Punta Nizuc en el Caribe mexicano y en el SAV en el Golfo de México, mientras que *Stephanocoenia intersepta* solo fue registrada en Mahahual y el SAV como especie rara (Tabla 7).

El patrón de agrupamiento permite identificar tres grupos principales; en el primero de ellos se unen localidades de la parte sur con las de la parte centro del Caribe mexicano. En el segundo grupo se unen localidades de la parte norte del Caribe mexicano con los arrecifes del SAV en el Golfo de México, siendo éstos más afines que la afinidad que muestran las localidades de la parte norte con los arrecifes de la zona sur y centro del Caribe mexicano. En el tercer grupo se pueden reconocer los arrecifes de la plataforma yucateca (Alacranes y Cayo Arenas) que se unen con el arrecife de Tuxpam, quedando fuera de los grupos el arrecife de Triángulos en la plataforma yucateca. Finalmente se observa de manera general que las localidades del Caribe mexicano (parte sur y centro) que forman el primer grupo son los más afines por su menor extensión (Figura 14).

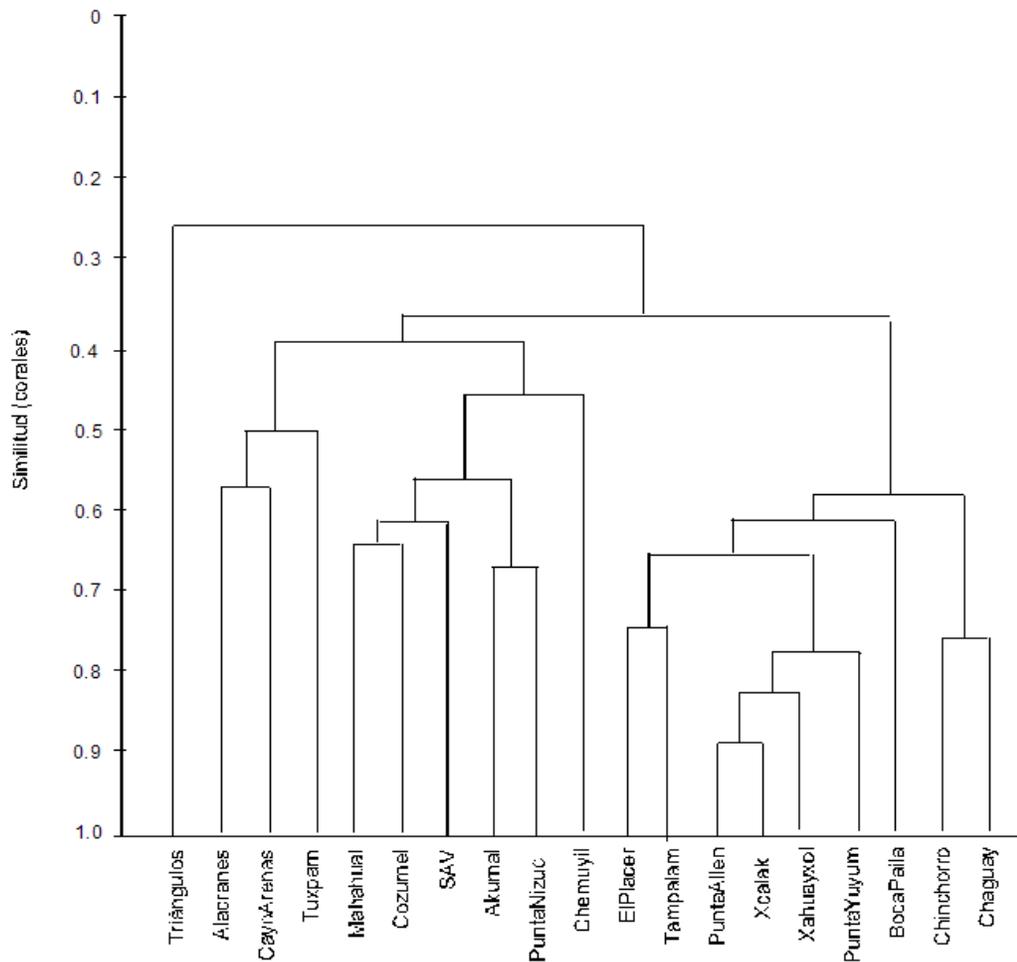


Figura 14. Agrupamiento entre localidades (corales) a partir del Índice de Jaccard para datos de presencia/ausencia con unión media no ponderada.

Con base en el análisis de agrupamiento condicionado se puede interpretar la existencia de cuatro regiones principales: las tres primeras en el Caribe mexicano con una región Sur, una región Centro y una región Norte y la cuarta región formada por los arrecifes de la plataforma yucateca y del Golfo de México. En la primera región el agrupamiento es mas estrecho para las localidades de la parte central (Punta Allen, Punta Yuyum y Boca Paila junto con El Placer y Tampalam) comparadas con las del sur (Xcalak, Xahuayxol y Chinchorro) y las localidades Mahahual y Chaguay que difieren entre sí más que la baja afinidad con sus respectivos subgrupos a pesar de ser vecinos. En la segunda región, la mayor afinidad se da entre los arrecifes de la plataforma yucateca (Alacranes, Cayo Arenas

y Triángulos) que forman un subgrupo más afín a los arrecifes de Veracruz (SAV y Tuxpam) que la menor afinidad de ambos con los arrecifes del norte del Caribe (Figura 15).

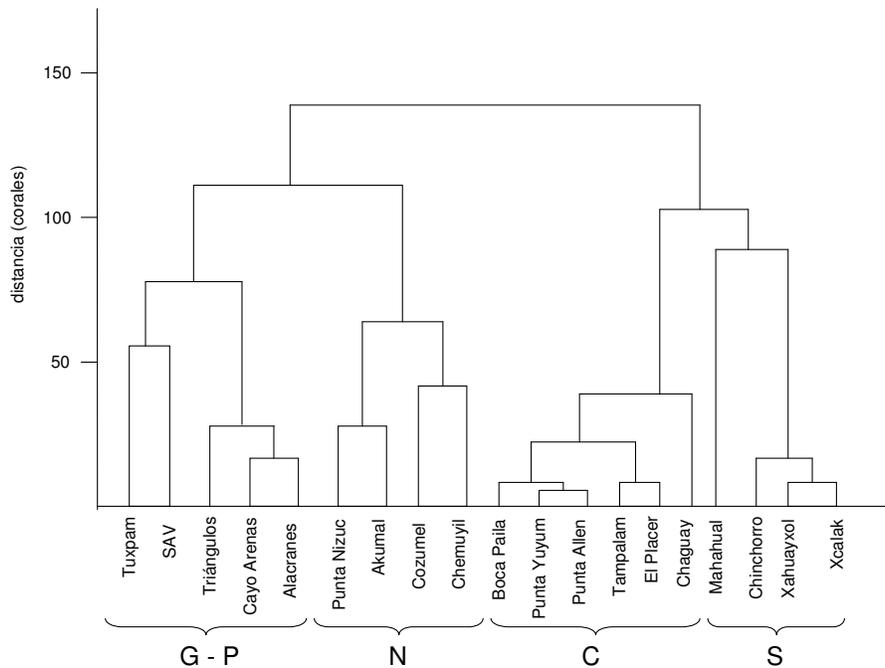


Figura 15. Agrupamiento condicionado por medio de la distancia euclidiana. De derecha a izquierda: localidades del Caribe mexicano: zona Sur (S), zona Centro (C), zona Norte (N); localidades del Golfo de Mexico: plataforma yucateca.

De manera general, en el agrupamiento condicionado la afinidad o similitud entre localidades rompe la secuencia entre las mismas, encontrando que en algunos casos es consistente, como ocurre con los arrecifes de la región Sur o Centro del Caribe mexicano, mientras para otras es más laxo, como se puede observar con los arrecifes de la región Norte del Caribe mexicano así como con los de la plataforma yucateca y los del Golfo de México (Figura 15).

La correlación entre la matriz de similitud de localidades con base en la presencia/ausencia de las especies de coral (similitud biológica) y las matrices de distancia geográfica, días de transporte y factores ambientales, mediante la prueba simple de Mantel, arrojó valores bajos de  $r$  pero en los tres casos estadísticamente significativos, por lo que se puede interpretar para los dos primeros casos que la

similitud biológica para corales disminuye conforme aumenta la distancia geográfica ( $p < 0.003$ ) y la distancia en días de transporte ( $p < 0.03$ ), mientras que frente a los factores ambientales, la similitud biológica entre localidades mas separadas es diferente debido a las diferencias en el ambiente ( $p < 0.001$ ) (Tabla 8).

Tabla 8. Prueba simple de Mantel para datos de corales, correlación entre dos matrices (  $r$  ) y su significancia estadística (  $p$  ).

variables	r	p
similitud biológica vs. distancia geográfica (km)	-0.4025	0.002997 *
similitud biológica vs. días de transporte	-0.3345	0.025974 *
similitud biológica vs. variables ambientales	-0.4563	0.000999*

Para datos cuantitativos se compiló información de 48 especies de corales pertenecientes a 11 familias en 17 localidades (Anexo A.3). Las familias más ricas fueron Faviidae con 12 especies, Mussidae con 8 especies, Agariciidae con 7 especies y Poritidae con 5 especies; las familias con menos especies fueron Astrocoeniidae con dos especies y Oculinidae con tan solo una especie (Tabla 9).

Tabla 9. Familias de corales frecuentes y poco frecuentes por localidad y número de especies, para datos cuantitativos.

Familia	No especies	No localidades
Faviidae	12	17
Mussidae	8	10
Agariciidae	7	17
Poritidae	5	17
Acroporidae	3	16
Meandrinidae	3	14
Pocilloporidae	3	9
Siderastreidae	2	16
Caryophylliidae	2	7
Astrocoeniidae	2	5
Oculinidae	1	2

Para la Familia Faviidae las especies *Montastraea annularis*, *Diploria strigosa*, *Montastraea cavernosa* y *Montastraea faveolata* fueron las especies mas abundantes, mientras las menos abundantes fueron *Colpophyllia amaranthus* y *Manicina areolata*. Por su parte para la Familia Agariciidae la especie mas abundantes fue *Agaricia agaricites* y la menos abundante fue *Agaricia undata* y para

la Familia Siderastreidae la especie mas abundante fue *Siderastrea siderea* (Tabla 10).

Tabla 10. Abundancia total de las especies (corales) presentes en el Golfo de México y Caribe mexicano.

Familia	Especie	Ab.Relativa %	Frecuencia
Faviidae	<i>Montastraea annularis</i>	17.95733	17
Faviidae	<i>Diploria strigosa</i>	10.33219	16
Faviidae	<i>Montastraea cavernosa</i>	9.36588	17
Faviidae	<i>Montastraea faveolata</i>	8.04270	12
Acroporidae	<i>Acropora palmata</i>	7.13722	15
Siderastreidae	<i>Siderastrea siderea</i>	6.28687	15
Agariciidae	<i>Agaricia agaricites</i>	6.11546	14
Poritidae	<i>Porites astreoides</i>	5.06044	15
Faviidae	<i>Colpophyllia natans</i>	4.31288	14
Poritidae	<i>Porites porites</i>	3.39348	14
Acroporidae	<i>Acropora cervicornis</i>	3.28486	12
Agariciidae	<i>Agaricia tenuifolia</i>	3.14854	12
Faviidae	<i>Montastraea franksi</i>	2.94133	12
Faviidae	<i>Diploria labyrinthiformis</i>	2.41273	13
Meandrinidae	<i>Meandrina meandrites</i>	1.32426	12
Meandrinidae	<i>Dichocoenia stokesi</i>	1.12908	7
Faviidae	<i>Diploria clivosa</i>	1.01168	11
Siderastreidae	<i>Siderastrea radians</i>	0.97444	6
Agariciidae	<i>Agaricia fragilis</i>	0.85182	4
Caryophylliidae	<i>Eusmilia fastigiata</i>	0.66040	6
Poritidae	<i>Porites furcata</i>	0.54527	10
Faviidae	<i>Solenastrea bournoni</i>	0.51821	4
Agariciidae	<i>Agaricia lamarcki</i>	0.51023	4
Astrocoeniidae	<i>Stephanocoenia michelini</i>	0.38812	4
Pocilloporidae	<i>Madracis decactis</i>	0.28478	7
Meandrinidae	<i>Dendrogyra cylindrus</i>	0.28185	4
Mussidae	<i>Mycetophyllia lamarckiana</i>	0.24190	7
Mussidae	<i>Mycetophyllia ferox</i>	0.23894	5
Poritidae	<i>Porites divaricata</i>	0.22803	6
Faviidae	<i>Colpophyllia breviserialis</i>	0.16263	3
Pocilloporidae	<i>Madracis pharensis</i>	0.14337	3
Agariciidae	<i>Agaricia humilis</i>	0.12380	1
Pocilloporidae	<i>Madracis mirabilis</i>	0.11195	2
Mussidae	<i>Mycetophyllia aliciae</i>	0.09278	2
Mussidae	<i>Mycetophyllia danaana</i>	0.09118	4
Caryophylliidae	<i>Favia fragum</i>	0.06386	3
Faviidae	<i>Colpophyllia amaranthus</i>	0.04961	2
Astrocoeniidae	<i>Stephanocoenia intersepta</i>	0.03322	2
Mussidae	<i>Isophyllia sinuosa</i>	0.03115	2
Agariciidae	<i>Helioseris cucullata</i>	0.02290	1
Poritidae	<i>Porites branneri</i>	0.02251	1
Faviidae	<i>Manicina areolata</i>	0.02063	3
Mussidae	<i>Mussa angulosa</i>	0.01834	2
Oculinidae	<i>Oculina diffusa</i>	0.01334	2
Mussidae	<i>Isophyllastrea rigida</i>	0.01127	2
Agariciidae	<i>Agaricia undata</i>	0.00566	1
Acroporidae	<i>Acropora prolifera</i>	0.00081	1
Mussidae	<i>Scolymia lacera</i>	0.00007	1

Las especies menos abundantes y raras fueron *Agaricia undata* para la Familia Agariciidae solo presente en Cozumel, *Acropora prolifera* de la Familia Acroporidae y *Scolymia lacera* de la Familia Mussidae solo presentes en Mahahual (Tabla 10).

Las especies más abundantes fueron *Montastraea annularis* presente en todas las localidades, *Diploria strigosa* presente en 16 localidades, *Montastraea cavernosa* presente en las 17 localidades y *Montastraea faveolata* presente en 12 localidades y las especies menos abundantes fueron *Agaricia undata*, *Acropora prolifera* y *Scolymia lacera*, que solo estuvieron presentes en una localidad.

De la riqueza de especies por localidad se encontró que Mahahual tuvo la más alta con 37 especies pertenecientes a 11 familias, seguida de Cozumel con 32 especies pertenecientes a 10 familias, mientras la menor lo fue para Triángulos con 10 especies pertenecientes a seis familias (Figura 16).

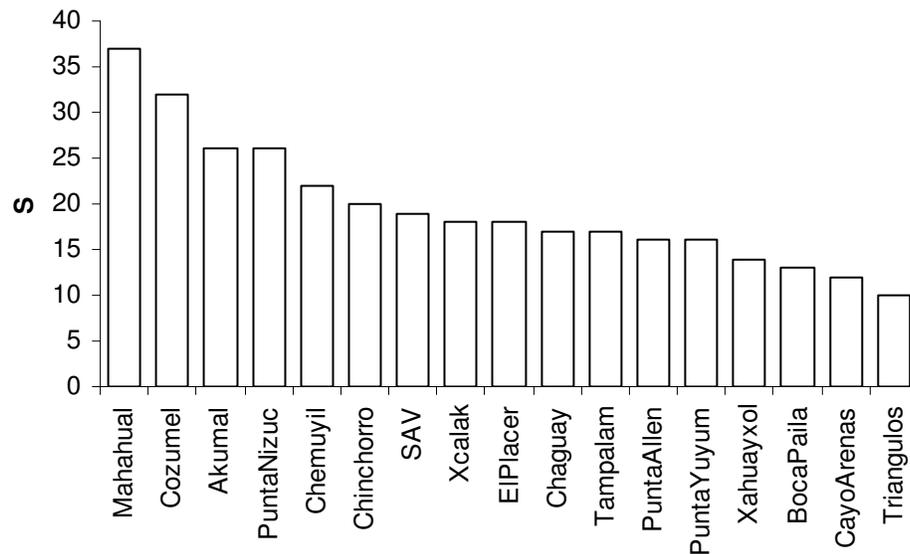


Figura 16. Riqueza específica de corales para localidades del Golfo de México y Caribe mexicano.

A partir del Índice Biológico de Sanders se encontró que las especies dominantes fueron *Montastraea annularis*, *Diploria strigosa*, *Montastraea cavernosa* y *Montastraea faveolata*, que juntas contribuyen con un 55.69 % de la abundancia con respecto al total de la comunidad (Tabla 11). Estas cuatro especies tienen el mayor

valor del Índice Biológico de Sanders (IBS), siendo también las primeras cuatro en abundancia (Tabla 10).

Tabla 11. Índice Biológico de Sanders que indica el valor de importancia de cada especie (corales) y proporción de cada especie al total de la comunidad coralina en el Golfo de México y Caribe mexicano.

Especie	IBS	%
<i>Montastraea annularis</i>	54	21.18
<i>Diploria strigosa</i>	32	12.55
<i>Montastraea cavernosa</i>	31	12.16
<i>Montastraea faveolata</i>	25	9.80
<i>Agaricia agaricites</i>	23	9.02
<i>Acropora palmata</i>	19	7.45
<i>Porites astreoides</i>	16	6.28
<i>Siderastrea siderea</i>	13	5.10
<i>Agaricia tenuifolia</i>	8	3.14
<i>Colpophyllia natans</i>	7	2.75
<i>Acropora cervicornis</i>	5	1.96
<i>Porites porites</i>	4	1.57
<i>Montastraea franksi</i>	4	1.57
<i>Dichocoenia stokesi</i>	3	1.18
<i>Diploria clivosa</i>	3	1.18
<i>Meandrina meandrites</i>	2	0.78
<i>Siderastrea radians</i>	2	0.78
<i>Agaricia fragilis</i>	2	0.78
<i>Diploria labyrinthiformis</i>	1	0.39
<i>Stephanocoenia michelini</i>	1	0.39

La diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ) muestra que Cozumel tuvo la más alta con 4.05 bits/ind., seguida de Mahahual con 3.7 bits/ind mientras la más baja fue para Cayo Arenas con 1.68 bits/ind. Considerando todas las localidades no se percibe claramente ningún patrón de variación en la diversidad ecológica (Tabla 12).

En cambio, con respecto a la equidad de Pielou ( $J$ ) se puede identificar que la distribución más equitativa en la abundancia de las especies comienza hacia el sur del Caribe mexicano y va disminuyendo hacia el interior del Golfo de México (Tabla 12).

Cabe hacer notar que aunque Cozumel y Mahahual tuvieron los valores de diversidad ( $H'$ ) y de riqueza ( $S$ ) más altos, mostraron equidades diferentes; mientras

que para Cozumel fue de 0.81, para Mahahual fue de 0.71; por su parte, Triángulos que tuvo la riqueza mas baja mostró una equidad de 0.74, mayor que la de Mahahual. En cambio para Cayo Arenas que fue la localidad con la diversidad más baja, también fue la de menor equidad, cuando mostró la redundancia más alta, reflejo de la existencia de alguna especie muy abundante; en este caso *Diploria strigosa* fue la especie más abundante y la dominante en esa localidad (Tabla IIIA y Tabla 12).

Tabla 12. Parámetros de la comunidad de corales por localidad; riqueza específica (S), diversidad de Shannon-Wiener (H'), equidad de Pielou (J) y redundancia (R).

Localidades	S	H'	J	R
EIPlacer	18	3.63	0.87	0.13
Tampalam	17	3.52	0.86	0.14
PuntaAllen	16	3.34	0.83	0.17
Chinchorro	20	3.59	0.83	0.17
PuntaYuyum	16	3.31	0.83	0.17
BocaPaila	13	3.05	0.82	0.18
Cozumel	32	4.05	0.81	0.19
Xahuayxol	14	3.06	0.80	0.20
Chaguay	17	3.23	0.79	0.21
Xcalak	18	3.16	0.76	0.24
Akumal	26	3.55	0.75	0.25
Triangulos	10	2.46	0.74	0.26
PuntaNizuc	26	3.46	0.74	0.26
Mahahual	37	3.70	0.71	0.29
SAV	19	2.86	0.67	0.33
Chemuyil	22	2.79	0.63	0.38
CayoArenas	12	1.68	0.47	0.53

Una vez aplicados los criterios de depuración de los datos previamente establecidos, los análisis subsecuentes se basan en una matriz integrada por 33 especies de corales en 17 localidades.

El análisis de clasificación aglomerativa permite identificar dos grandes grupos, el primero de ellos que une arrecifes del Caribe mexicano con el SAV en el Golfo de México y en el segundo grupo donde se unen los arrecifes de la plataforma yucateca con el resto de los arrecifes del Caribe mexicano (Figura 17).

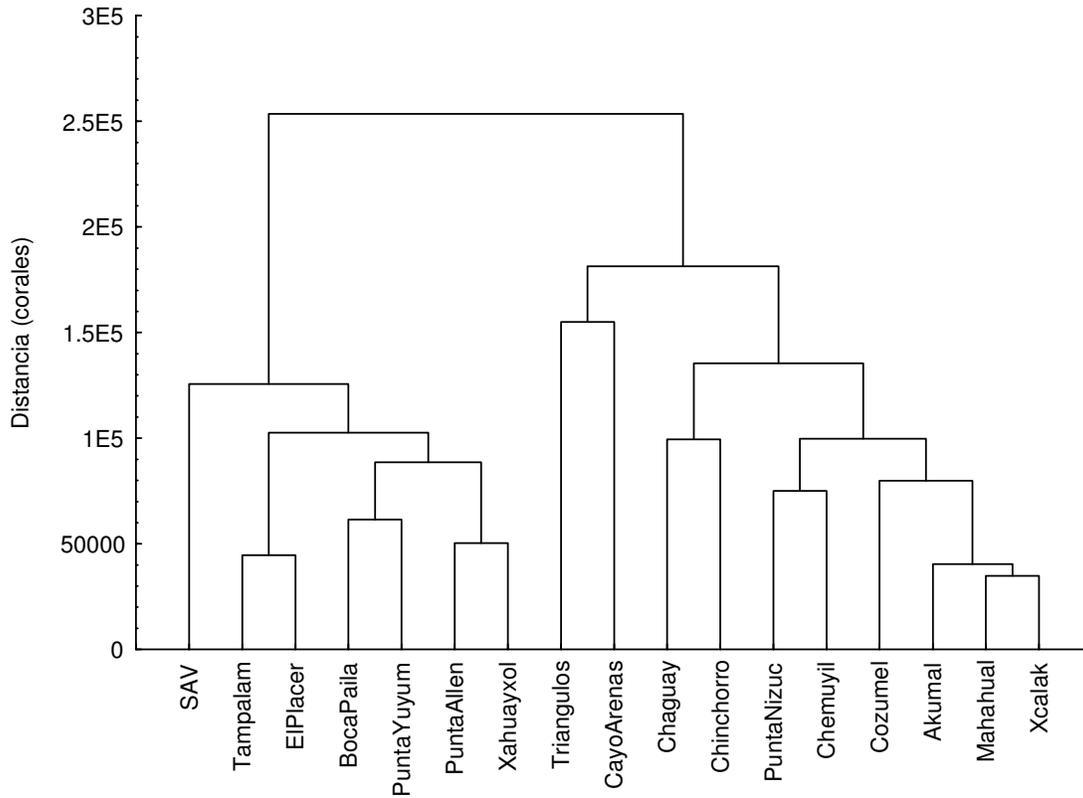


Figura 17. Agrupamiento entre localidades para corales utilizando la distancia de Manhattan con el método de Ward.

Con base en el análisis de agrupamiento condicionado se pueden identificar cuatro regiones principales: en la primera región se unen las localidades del Centro del Caribe mexicano (El Placer y Tampalam que se unen con Punta Yuyum y Boca Paila con Punta Allen); en la región Norte (Akumal y Punta Nizuc con Chemuyil y Cozumel), se observa menor afinidad que la que existe entre las localidades de la región Sur (Xcalak y Xahuayxol con Chinchorro y Mahahual); cabe mencionar que de esta última región, Chaguay se adhiere mas externamente por su baja afinidad. Finalmente, las tres localidades del Golfo de México y plataforma yucateca se unen para conformar un grupo más laxo que los observados para el Caribe (Figura 18).

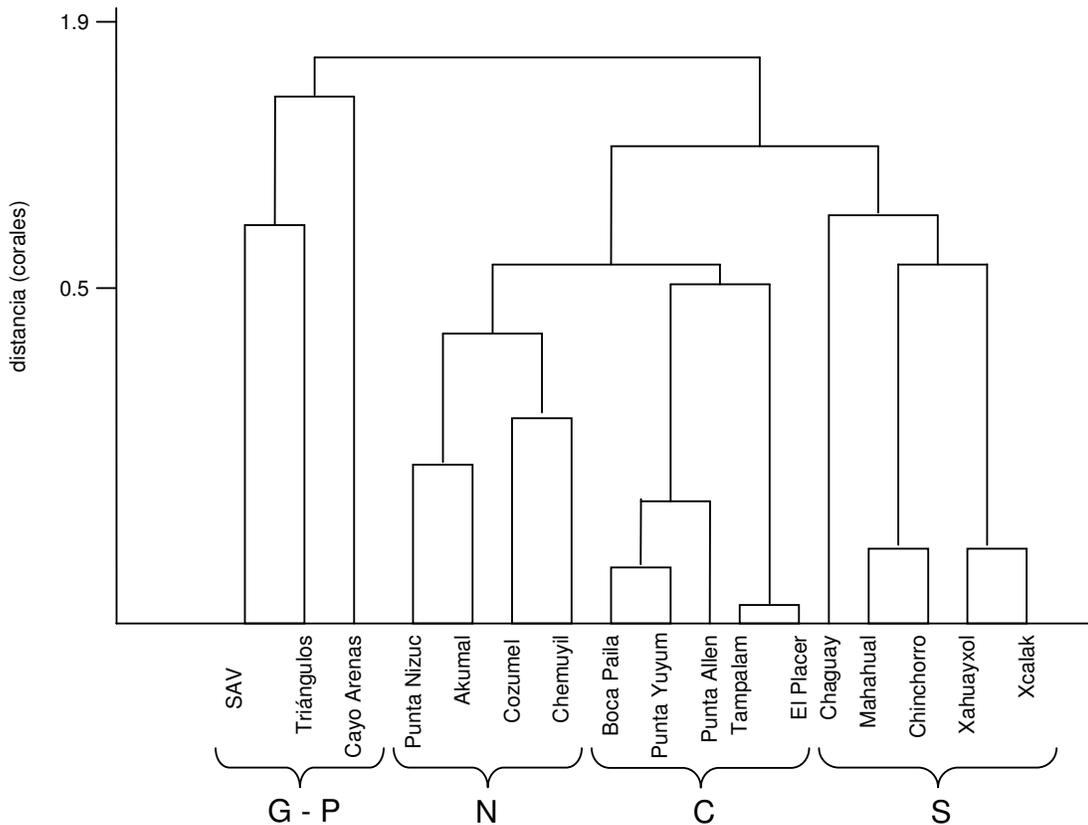


Figura 18. Agrupamiento condicionado por medio de la distancia euclidiana. De derecha a izquierda: localidades del Caribe mexicano: zona Sur (S), zona Centro (C), zona Norte (N); localidades del Golfo de México: plataforma yucateca (P) y arrecifes de Veracruz (G).

El análisis de correlación entre matrices arrojó los siguientes resultados (Tabla 13). La correlación entre la similitud biológica con la distancia geográfica, así como con los factores ambientales, dieron como resultado correlaciones negativas altas y significativas ( $p < 0.019$ ,  $p < 0.003$ , respectivamente). La correlación de la similitud biológica con la distancia en días de transporte también fue negativa, aunque de menor magnitud y no significativa (Tabla 13).

Tabla 13. Prueba simple y parcial de Mantel para datos cuantitativos (corales). Para cada combinación de matrices se muestra la correlación  $r$  y la significancia  $p$ .

Prueba simple de Mantel		
	$r$	$p$
similitud biológica vs. distancia (km)	-0.514	0.018*
similitud biológica vs. días transporte	-0.384	0.076
similitud biológica vs. factores ambientales	-0.615	0.003*
distancia (km) vs. días transporte	0.962	0.001*
factores ambientales vs. distancia (km)	0.885	0.001*
factores ambientales vs. días transporte	0.751	0.001*
Prueba parcial de Mantel		
	$r$	$p$
similitud biológica vs. distancia (km) y días transporte	-0.572	0.003 <i>e</i>
similitud biológica vs. días transporte y distancia (km)	0.469	0.006 <i>e</i>
similitud biológica vs. distancia (km) y factores ambientales	0.084	0.324 <i>e</i>
similitud biológica vs. factores ambientales y distancia (km)	-0.402	0.019
similitud biológica vs. días transporte y factores ambientales	0.150	0.219 <i>e</i>
similitud biológica vs. factores ambientales y días transporte	-0.537	0.008

( \* ) correlaciones significativamente diferentes de cero.

( e ) correlacion espuria (Cramer, 2003).

Previo a la prueba parcial de Mantel, se obtuvieron las correlaciones simples entre las matrices de las variables independientes. Todas las combinaciones entre ellas resultaron positivas, mayores a 0.75 y altamente significativas (Tabla 13).

La prueba parcial de Mantel indica que la correlación de la similitud biológica con los factores ambientales, controlando la distancia geográfica y los días de transporte fue negativa y significativa en ambos casos. Las otras combinaciones posibles resultaron espurias de acuerdo con Cramer (2003) (Tabla 13).

Las relaciones significativas encontradas se pueden apreciar en diagramas de dispersión en los que es clara la tendencia negativa en los tres casos: la similitud biológica disminuye al aumentar la distancia geográfica (Figura 19 A), los días de transporte por las corrientes (Figura 19 B) y entre más diferente es el ambiente (Figura 19 C).

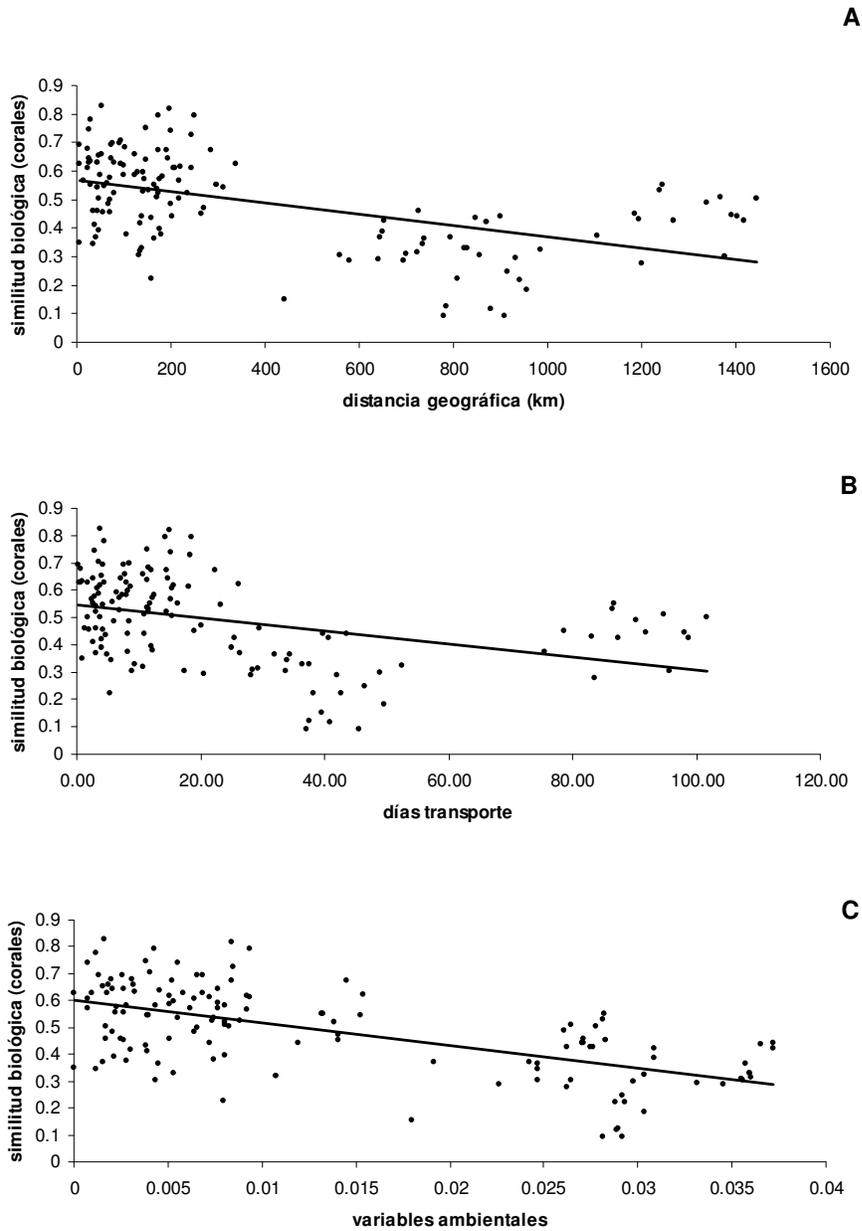


Figura 19. Dispersión de las matrices consideradas en la prueba de Mantel para corales: A) similitud biológica con la distancia geográfica; B) similitud biológica con la distancia en días de transporte; C) similitud biológica con el ambiente.

Con los datos de similitud biológica promediados por intervalos constantes de los valores de distancia geográfica, días de transporte y factores ambientales, los diagramas de dispersión muestran de manera simplificada la disminución de la similitud biológica conforme aumentan los valores de las tres variables del caso.

Nuevamente se vuelve a confirmar la tendencia negativa de los datos y en los tres casos los coeficientes de determinación resultaron bajos (Figura 20).

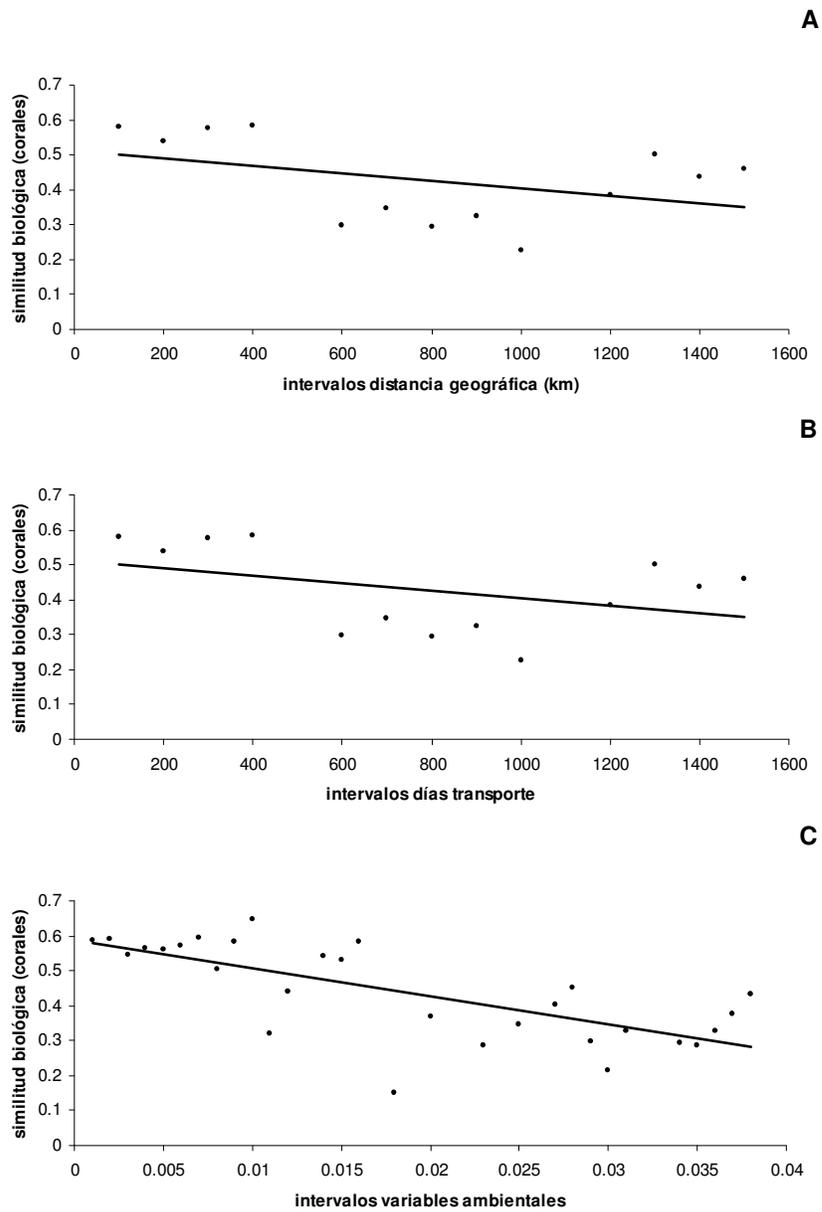


Figura 20. Dispersión y líneas de tendencia del promedio de la similitud biológica con respecto a intervalos constantes de: A) distancia geográfica (km); B) distancia en días de transporte; C) variables ambientales.

A partir de la matriz de Diversidad beta  $\beta_{jk}$  (Tabla 14), transformada a valores de similitud biológica se hizo una correlación simple.

Tabla 15. Matriz de la Diversidad Beta entre las localidades de corales.

	Xcalac	Xahuayxol	Chinchorro	Mahahual	Chaguay	ElPlacer	Tampalam	PuntaAllen	PuntaYuyum	BocaPaila	Chemuyil	Cozumel	Akumal	PuntaNizuc	CayoArenas	Triangulos	SAV	k	
Xcalac	17	13	14	17	12	14	12	15	14	11	15	13	16	13	8	5	12	S <sub>kk</sub>	
Xahuayxol	0.133	13	10	13	9	12	11	13	12	9	12	11	13	11	7	3	9		
Chinchorro	0.378	0.512	28	23	18	13	11	12	11	8	16	13	22	20	9	8	14		
Mahahual	0.227	0.350	0.164	27	17	16	14	15	14	11	18	16	21	18	10	7	14		
Chaguay	0.333	0.438	0.234	0.261	19	10	8	11	9	7	12	10	16	13	8	7	10		
ElPlacer	0.176	0.200	0.422	0.273	0.444	17	14	13	13	10	13	11	14	11	6	2	9		
Tampalam	0.273	0.241	0.500	0.349	0.543	0.152	16	11	12	10	11	10	12	10	6	2	10		
PuntaAllen	0.063	0.071	0.442	0.286	0.353	0.188	0.290	15	13	11	14	12	15	12	7	4	10		
PuntaYuyum	0.125	0.143	0.488	0.333	0.471	0.188	0.226	0.133	15	10	12	11	13	10	6	3	9		
BocaPaila	0.241	0.280	0.600	0.436	0.548	0.310	0.286	0.185	0.259	12	11	8	11	8	5	2	9		
Chemuyil	0.167	0.250	0.319	0.217	0.368	0.278	0.371	0.176	0.294	0.290	19	15	17	14	8	6	11		
Cozumel	0.212	0.241	0.409	0.256	0.429	0.333	0.375	0.225	0.290	0.429	0.143	16	15	12	6	6	9		
Akumal	0.238	0.316	0.170	0.192	0.273	0.333	0.415	0.250	0.350	0.405	0.227	0.268	25	17	9	7	14		
PuntaNizuc	0.316	0.353	0.184	0.250	0.350	0.421	0.459	0.333	0.444	0.515	0.300	0.351	0.261	21	10	7	12		
CayoArenas	0.407	0.391	0.526	0.459	0.448	0.556	0.538	0.440	0.520	0.545	0.448	0.538	0.486	0.355	10	5	8		
Triangulos	0.600	0.714	0.556	0.600	0.481	0.840	0.833	0.652	0.739	0.800	0.556	0.500	0.576	0.517	0.444	8	5		
SAV	0.273	0.379	0.364	0.349	0.429	0.455	0.375	0.354	0.419	0.357	0.371	0.438	0.317	0.351	0.385	0.583	16		
j																			S <sub>ij</sub>

La correlación entre la Diversidad beta convertida a similitud con la distancia geográfica, la distancia en días de transporte y el ambiente, dio como resultado nuevamente correlaciones  $r$  negativas y significativas para la distancia geográfica y el ambiente (Tabla 15).

Tabla 15. Prueba simple de Mantel para la Diversidad beta transformada a similitud (corales). Para cada combinación de matrices se muestra la correlación  $r$  y la significancia estadística  $p$ .

variables	$r$	$p$
similitud biológica vs distancia geográfica (km)	-0.459	0.026*
similitud biológica vs días de transporte	-0.315	0.066
similitud biológica vs variables ambientales	-0.582	0.004*

De la misma forma que en los casos anteriores, el diagrama de dispersión de los datos muestra la tendencia a disminuir de la similitud biológica conforme aumentan los valores de las tres variables del caso (Figura 21).

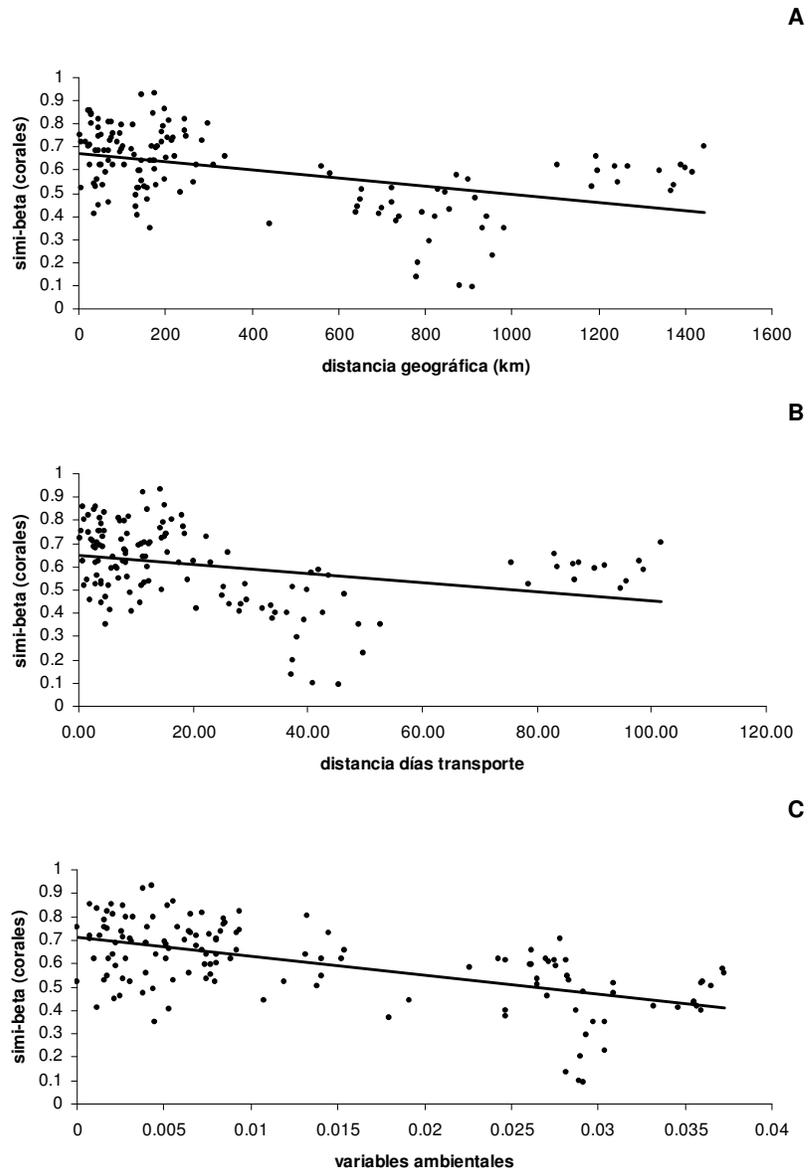


Figura 21. Dispersión de las matrices consideradas en la prueba de Mantel a partir de la diversidad beta transformada a similitud biológica: A) similitud biológica con la distancia geográfica; B) similitud biológica con la distancia en días de transporte; C) similitud biológica con las variables ambientales.

El diagrama resultado de la ordenación con el NMDS define una configuración interpretable como gradiente de variabilidad que va de Chinchorro, en la parte inferior izquierda del plano, hacia arriba y a la derecha, pasando por los arrecifes del sur, luego del centro del Caribe mexicano. La parte norte de la región no está bien definida ya que sus localidades se encuentran mezcladas con las del centro (Figura 22).

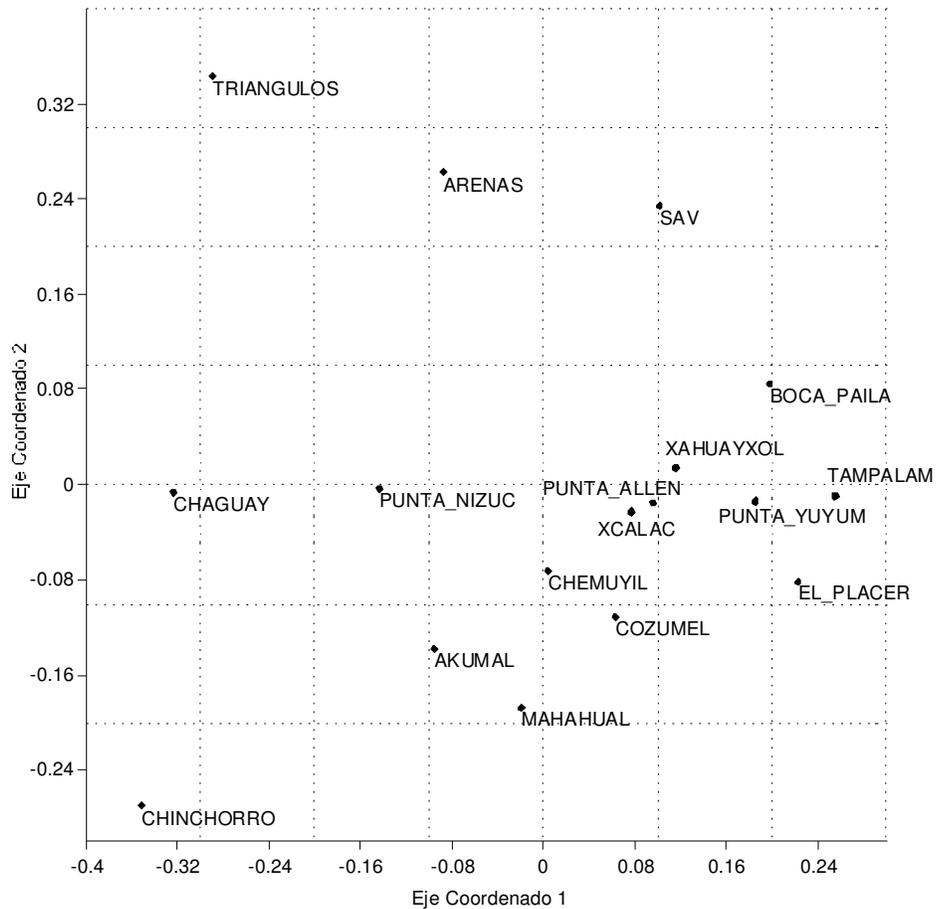


Figura 22. Análisis de ordenamiento por escalamiento no métrico (NMDS); aplicando la distancia de Manhattan para localidades con datos de corales.

Con respecto al segundo eje de ordenación, las localidades del Golfo de México y Plataforma yucateca se muestran separadas de las del Caribe, sin embargo, el SAV se sitúa entre los arrecifes del caribe y los de la plataforma yucateca (Figura 22).

### Peces

Para los peces se compiló información sobre la presencia/ausencia de 205 especies, 108 géneros, 54 familias y 13 órdenes pertenecientes a dos clases en 18 localidades. El elenco taxonómico se presenta en el Anexo A.4. La distribución de la riqueza específica indica que Alacranes mostró la más alta con 188 especies y 100 géneros pertenecientes a 54 familias, mientras la menor fue para Punta Allen con 24 especies y 19 géneros pertenecientes a 12 familias (Tabla 16).

Tabla 16. Riqueza específica (S), géneros y familias de peces por localidad.

Localidades	No familias	No géneros	S
Alacranes	54	100	188
SAV	42	68	127
Tuxpam	37	65	113
Chinchorro	31	54	97
Cayo Arcas	31	52	93
I.Mujeres	32	53	90
Cayo Arenas	27	47	84
Cozumel	25	46	80
Pto.Morelos	27	48	77
Mahahual	22	42	75
Triangulos	29	46	75
Lobos	37	57	75
Tulum	22	38	53
Pta.Caracol	18	30	43
I.Contoy	18	27	43
Pta.Tanchacto	16	25	36
Punta Nizuc	14	21	28
Punta Allen	12	19	24

La Familia con mayor número de especies fue Serranidae con 20 especies presentes en 13 de las 18 localidades, otras familias frecuentes fueron Pomacentridae y Labridae ambas con 13 especies y presentes en 17 localidades, así como Carangidae con 10 especies y presente en todas las localidades. Otras familias frecuentes pero con pocas especies fueron Acanthuridae con tres especies, Chaetodontidae con seis especies, Pomacanthidae con cinco especies y Tetraodontidae con solo dos especies. De manera general por localidad existe un promedio de 78 especies (Anexo A.5 y Tabla 17).

Las especies más frecuentes fueron *Trachinotus goodei* de la Familia Carangidae, *Acanthurus bahianus* de la Familia Acanthuridae, *Haemulon flavolineatum* de la Familia Haemulidae, *Bodianus rufus* de la Familia Labridae, *Abudefduf saxatilis* de la Familia Pomacentridae y *Sphoeroides spengleri* de la Familia Tetraodontidae. Las especies poco comunes fueron numerosas pero se puede mencionar a aquellas especies como *Enneanectes jordani* de la Familia Tripterygiidae solo presente en Alacranes y Triángulos en la plataforma yucateca o bien a *Rachycentron canadum*

de la Familia Rachycentridae solo presente en Alacranes y Tuxpam en el Golfo de México (Tabla 17 y Anexo A.5).

Tabla 17. Familias frecuentes y poco frecuentes por localidad con número de especies (peces).

Familia	No Especies	No Localidades	Familia	No Especies	No Localidades
Acanthuridae	3	17	Malacanthidae	1	9
Apogonidae	2	4	Megalopidae	1	4
Atherinidae	1	2	Monacanthidae	5	10
Aulostomidae	2	12	Mugilidae	1	2
Balistidae	5	12	Mullidae	2	15
Belonidae	2	11	Muraenidae	5	7
Blenniidae	4	11	Myliobatidae	1	4
Bothidae	2	2	Ogcocephalidae	1	2
Bythitidae	1	3	Ophichthidae	1	2
Carangidae	10	18	Opistognathidae	2	2
Chaetodontidae	6	15	Ostraciidae	5	12
Cirrhitidae	1	2	Pempheridae	1	7
Clupeidae	3	2	Pomacanthidae	5	15
Dasyatidae	1	5	Pomacentridae	13	17
Diodontidae	2	7	Priacanthidae	2	6
Gerreidae	3	9	Ptereleotridae	1	4
Ginglymostomatidae	1	4	Rachycentridae	1	2
Gobiidae	7	3	Scaridae	12	16
Grammatidae	2	11	Sciaenidae	4	6
Haemulidae	14	17	Scombridae	4	14
Hemiramphidae	1	2	Serranidae	20	13
Holocentridae	5	14	Sparidae	4	2
Inermiidae	1	9	Sphyraenidae	1	4
Kyphosidae	2	12	Synodontidae	2	4
Labridae	13	17	Tetraodontidae	2	17
Labrisomidae	5	4	Tripterygiidae	1	2
Lutjanidae	7	15	Urolophidae	1	4

En el análisis para datos de presencia/ausencia con peces, se observa que no existe un patrón definido de agrupamiento entre localidades. Solo podría mencionarse que el arrecife Cayo Arenas es mas parecido a Cayo Arcas o bien que Alacranes es mas parecido a los arrecifes del SAV y a mayor extensión Punta Caracol y Punta Tanchacto son afines entre si (Figura 23).

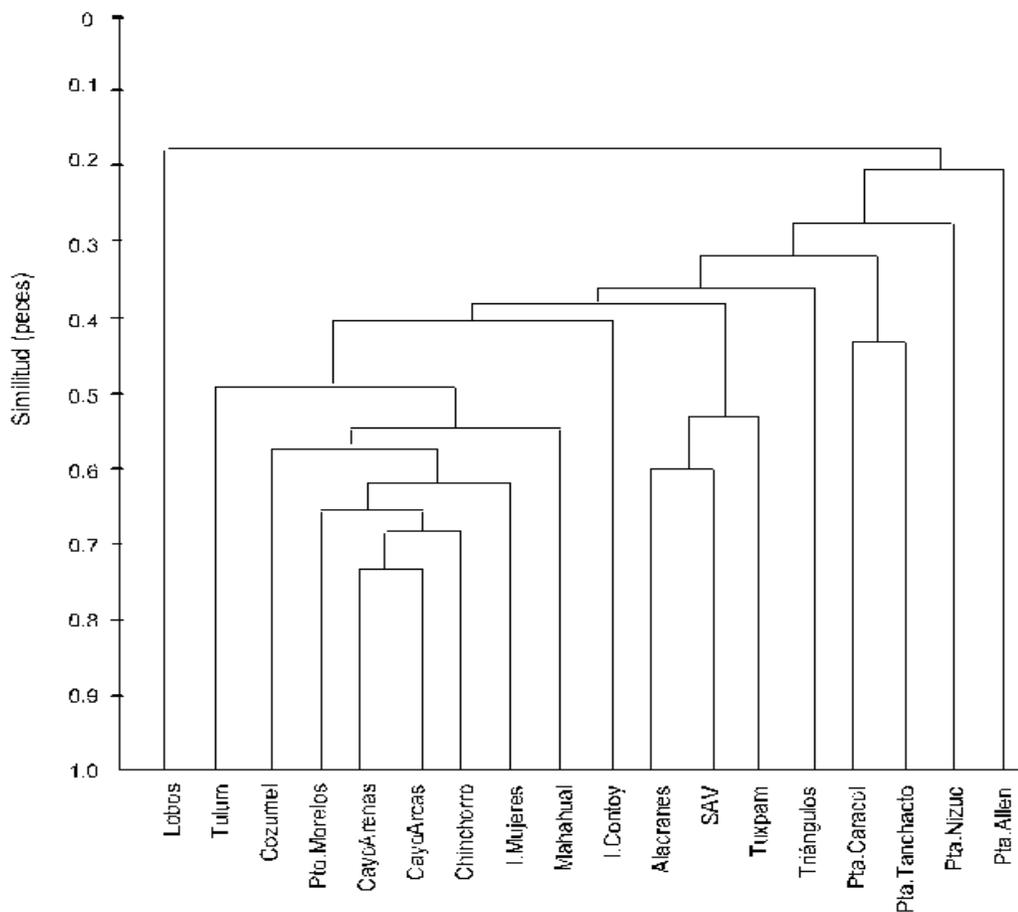


Figura 23. Agrupamiento entre localidades a partir del Índice de Jaccard para datos de presencia/ausencia (peces).

El patrón de agrupamiento condicionado general permite identificar dos regiones principales: el primer grupo une a las localidades del Caribe mexicano en el cual se reconocen tres subgrupos, en el primero se unen Punta Caracol, Punta Tanchacto y Punta Nizuc, en el segundo Puerto Morelos y Cozumel y en el tercero se unen Tulum, Punta Allen y Mahahual, que se unen con afinidades comparables. Por su parte I. Mujeres e I. Contoy que pertenecen al primer subgrupo se unen entre sí con menor afinidad que la afinidad existente dentro de los otros subgrupos.

En el segundo grupo se puede identificar a los arrecifes del Golfo de México donde se reconoce que la mayor afinidad se da entre los arrecifes Cayo Arenas, Triángulos y Cayo Arcas (plataforma yucateca) que se unen con el SAV y Tuxpam siendo la afinidad entre éstos menor que la menor afinidad existente entre los arrecifes del

Caribe mexicano. Además los arrecifes Alacranes y Lobos se unen a mayor distancia dentro del segundo grupo (Figura 24).

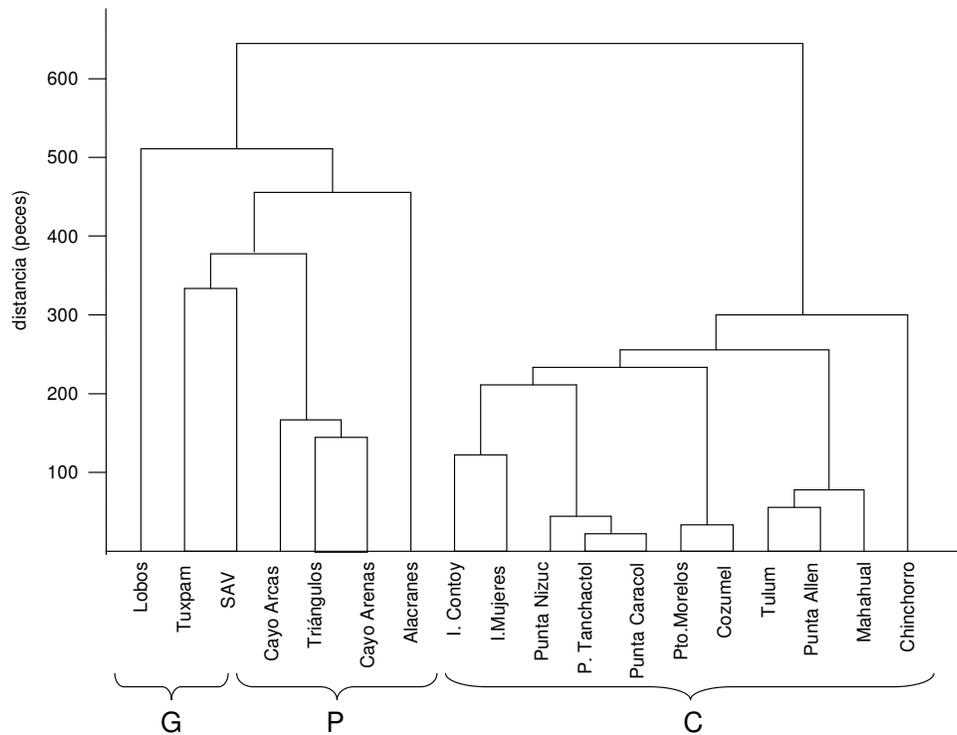


Figura 24. Agrupamiento condicionado por medio de la distancia euclidiana. De derecha a izquierda: localidades del Caribe mexicano (C); localidades del Golfo de Mexico: plataforma yucateca (P) y arrecifes de Veracruz (G).

Se probó con la prueba simple de Mantel las correlaciones entre las matrices de afinidad; los valores de  $r$  fueron negativos y solo la similitud biológica con la distancia geográfica y con los factores ambientales resultaron ser estadísticamente significativas. Se puede interpretar en todos los casos que la similitud biológica para peces disminuye conforme aumenta la distancia geográfica a pesar de los bajos valores de correlación (Tabla 18).

Tabla 18. Prueba simple de Mantel para datos de peces, correlación entre dos variables ( $r$ ) y su significancia estadística ( $p$ ).

variables	$r$	$p$
similitud biológica vs. distancia geográfica (km)	-0.29015	0.025974*
similitud biológica vs. días de transporte (cm/s)	-0.28927	0.059940
similitud biológica vs. factores ambientales	-0.234140	0.043956*

Para datos cuantitativos de peces se tienen 167 especies pertenecientes a 47 familias en 16 localidades; la localidad con la riqueza específica más alta corresponde al arrecife de Tuxpam con 112 especies, mientras que Punta Allen resultó la menos rica con 24 especies (Figura 25).

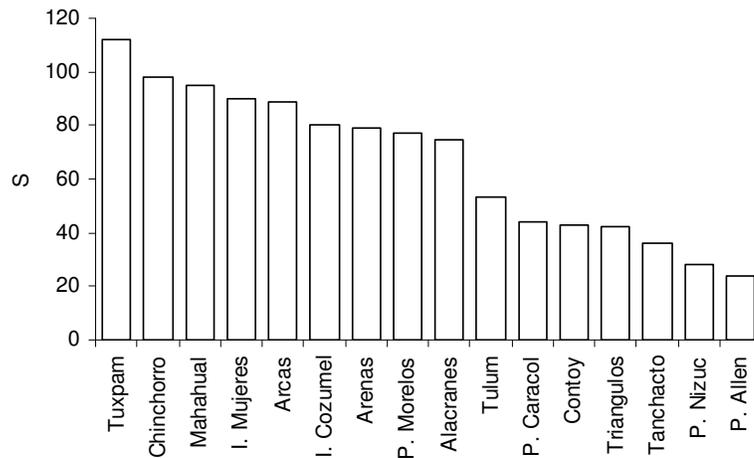


Figura 25. Riqueza específica de peces en las localidades del Golfo de México y Caribe mexicano.

Se encontró que la Familia Serranidae tuvo el mayor número de especies, siendo *Mycteroperca bonaci* e *Hypoplectrus guttavarius* las especies más abundantes, seguida de la Familia Haemulidae con *Haemulon flavolineatum* y *Haemulon chrysargyreum* como especies más abundantes, mientras que para la Familia Pomacentridae lo fueron las especies *Chromis multilineata* y *Chromis cyanea* y para la Familia Scaridae lo fueron *Scarus coeruleus* y *Scarus coelestinus*, en todos los casos con valores mayores a 40 mil individuos (Anexo A.5).

Las especies más abundantes fueron *Mycteroperca bonaci*, *Hypoplectrus guttavarius*, *Megalops atlanticus*, *Lutjanus analis*, *Pempheris schomburgkii*, *Gymnothorax funebris*, *Haemulon chrysargyreum*, *Lutjanus apodus*, *Haemulon flavolineatum* y *Diodon holocanthus*, con abundancias totales mayores a 70 mil individuos. Las especies menos abundantes fueron *Ptereleotris calliura*, *Apogon maculatus*, solo presentes en Tuxpam, *Synodus intermedius*, *Scorpaena plumieri*, solo presentes en el SAV y Tuxpam y *Heteroconger longissimus* solo presente en I. Cozumel (Anexo A.6).

Con base en el Índice Biológico de Sanders se encontró que las especies *Mycteroperca bonaci* (10.79%), *Hypoplectrus guttavarius* (6.71%), *Scarus coelestinus* (5.34%), *Pempheris schomburgkii* (4.88%), *Lutjanus apodus* (4.77%), *Megalops atlanticus* (4.77%), *Haemulon flavolineatum* (4.65%), *Haemulon chrysargyreum* (4.43%), *Scarus coeruleus* (4.32%) y *Lutjanus analis* (3.52%), contribuyen juntas con cerca del 55% de la dominancia al total de la comunidad, coincidiendo en su mayoría en ser las especies mas abundantes (Tabla 19).

Tabla 19. Índice Biológico de Sanders que indica el valor de importancia de cada especie (peces) y proporción de cada especie al total de la comunidad coralina en el Golfo de México y Caribe mexicano.

Especie	IBS	%	Especie	IBS	%
<i>Mycteroperca bonaci</i>	95	10.795	<i>Myripristis jacobus</i>	10	1.136
<i>Hypoplectrus guttavarius</i>	59	6.705	<i>Haemulon carbonarium</i>	9	1.023
<i>Scarus coelestinus</i>	47	5.341	<i>Abudefduf saxatilis</i>	9	1.023
<i>Pempheris schomburgkii</i>	43	4.886	<i>Lactophrys triqueter</i>	8	0.909
<i>Lutjanus apodus</i>	42	4.773	<i>Halichoeres bivittatus</i>	8	0.909
<i>Megalops atlanticus</i>	42	4.773	<i>Clepticus parrae</i>	8	0.909
<i>Haemulon flavolineatum</i>	41	4.659	<i>Haemulon macrostomum</i>	8	0.909
<i>Haemulon chrysargyreum</i>	39	4.432	<i>Stegastes partitus</i>	7	0.795
<i>Scarus coeruleus</i>	38	4.318	<i>Thalassoma bifasciatum</i>	7	0.795
<i>Lutjanus analis</i>	31	3.523	<i>Grama loreto</i>	6	0.682
<i>Kyphosus sectator</i>	31	3.523	<i>Bothus lunatus</i>	6	0.682
<i>Diodon holocanthus</i>	26	2.955	<i>Stegastes adustus</i>	6	0.682
<i>Lactophrys trigonus</i>	26	2.955	<i>Malacanthus plumieri</i>	6	0.682
<i>Mycteroperca tigris</i>	25	2.841	<i>Membras martinica</i>	5	0.568
<i>Odontoscion dentex</i>	20	2.273	<i>Grama melacara</i>	4	0.455
<i>Chromis cyanea</i>	18	2.045	<i>Lutjanus mahogoni</i>	3	0.341
<i>Ophioblennius atlanticus</i>	18	2.045	<i>Scarus taeniopterus</i>	3	0.341
<i>Chromis insolata</i>	17	1.932	<i>Acanthurus coeruleus</i>	2	0.227
<i>Haemulon boschmae</i>	14	1.591	<i>Stegastes diencaeus</i>	2	0.227
<i>Gymnothorax funebris</i>	13	1.477	<i>Chromis scotti</i>	2	0.227
<i>Haemulon sciurus</i>	12	1.364	<i>Lactophrys bicaudalis</i>	2	0.227
<i>Neoniphon marianus</i>	12	1.364	<i>Chaetodon striatus</i>	1	0.114
<i>Inermia vittata</i>	12	1.364	<i>Lutjanus griseus</i>	1	0.114
<i>Epinephelus adscensionis</i>	12	1.364	<i>Mycteroperca venenosa</i>	1	0.114
<i>Sparisoma cretense</i>	11	1.25	<i>Melichthys niger</i>	1	0.114
<i>Chromis multilineata</i>	10	1.136	<i>Kyphosus incisor</i>	1	0.114

La diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ) indica que Mahahual tuvo la más alta con 4.856 bits/ind, mientras que la menor fue para Isla Contoy con 1.584 bits/ind. Cabe mencionar que a pesar de que Mahahual fue la localidad con la diversidad ( $H'$ ) más alta con una riqueza de 95 especies, fue el arrecife de Triángulos quien tuvo la distribución de la abundancia más equitativa y con solo 42 especies, mientras Punta

Allen, que fue la localidad con la riqueza (S) mas baja, mostró una equidad (J) de Pielou comparable a la de Triángulos. Por su parte el arrecife de Tuxpam que tuvo la riqueza más alta, fue menos diversa que las anteriores y con una baja equidad. Finalmente I. Contoy tuvo la equidad más baja y la redundancia más alta indicando que se encontró fuertemente dominada por alguna especie (Tabla 20).

Tabla 20. Parámetros de la comunidad de peces por localidad; riqueza específica (S), diversidad de Shannon-Wiener (H'), equidad de Pielou (J) y redundancia (R).

Localidad	S	H'	J	R
Mahahual	95	4.856	0.739	0.262
Chinchorro	98	4.547	0.687	0.313
P. Morelos	77	4.133	0.659	0.341
Tulum	53	4.104	0.717	0.284
Triangulos	42	4.072	0.755	0.245
Arenas	79	3.739	0.593	0.408
Tuxpam	112	3.655	0.537	0.464
P. Nizuc	28	3.592	0.747	0.253
I. Mujeres	90	3.495	0.538	0.463
P. Allen	24	3.454	0.753	0.247
P. Caracol	44	3.374	0.618	0.383
Arcas	89	3.306	0.511	0.491
I. Cozumel	80	3.282	0.519	0.482
Alacranes	75	3.249	0.522	0.479
Tanchacto	36	1.608	0.311	0.69
I. Contoy	43	1.584	0.292	0.709

De la aplicación de los criterios de depuración de los datos se obtuvo una matriz integrada por 60 especies de peces en 14 localidades.

El análisis de clasificación aglomerativa permite identificar tres grupos principales. En el primero se pueden identificar las localidades del Caribe mexicano donde Chinchorro e I. Cozumel son los mas afines; a continuación, Tulum y P. Morelos se unen con menor afinidad que los primeros y Mahahual que viene a unirse a los primeros con menor afinidad que la existente entre Tulum y P. Morelos. A continuación se unen I. Mujeres e I. Contoy y a mayor extensión se les une Punta Nizuc. En el segundo grupo se observan las localidades de la plataforma yucateca donde son más afines Cayo Arenas, Cayo Arcas y Alacranes. Finalmente en el tercer grupo se unen el SAV y Tuxpam con la mayor afinidad, es decir son las localidades más parecidas entre si (Figura 26).

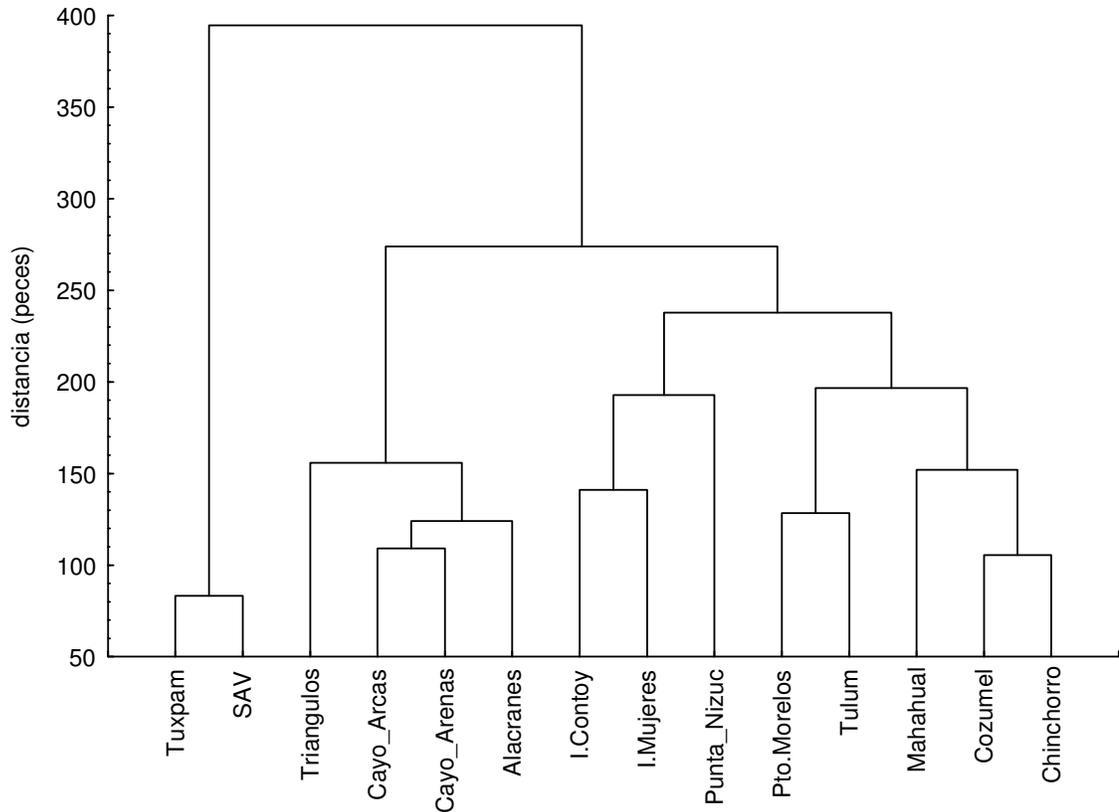


Figura 26. Agrupamiento entre localidades para peces utilizando la distancia de Manhattan con el método de Ward.

Del agrupamiento condicionado se pueden identificar cuatro regiones principales; las dos primeras en el Caribe mexicano que une a localidades de la región sur (Chinchorro con Mahahual) y centro (Pto. Morelos con I. Cozumel) con afinidades semejantes con excepción de Tulum que es el menos parecido. En la segunda región se unen a mayor extensión I. Mujeres con I. Contoy y con menor afinidad se les une Punta Nizuc (Figura 27).

La tercera región une a los arrecifes de la plataforma yucateca: Alacranes y Cayo Arenas con Triángulos y Cayo Arcas como un grupo compacto. Finalmente, la cuarta región donde se unen el SAV y Tuxpam formando un grupo más laxo y que pudiera ser comparable al encontrado con la región norte del Caribe mexicano (Figura 27).

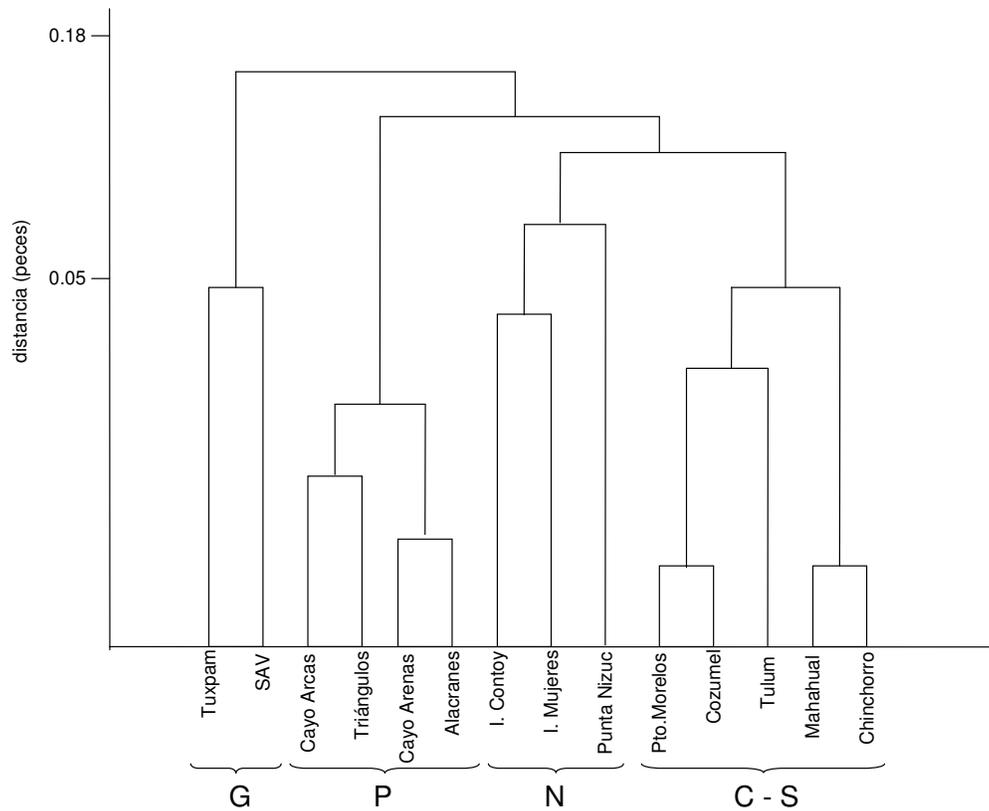


Figura 27. Agrupamiento condicionado por medio de la distancia euclidiana. De derecha a izquierda: localidades del Caribe mexicano: zona Sur (S), zona Centro (C), zona Norte (N); localidades del Golfo de México: plataforma yucateca (P) y arrecifes de Veracruz (G).

A partir de la prueba de Mantel se obtuvieron los resultados de las siguientes correlaciones. La correlación de la similitud biológica con la distancia geográfica, así como con los días de transporte, dieron como resultado correlaciones negativas y altamente significativas. La correlación de la similitud biológica con los factores ambientales también fue negativa, aunque de menor magnitud y no significativa (Tabla 21).

Todas las correlaciones simples entre matrices de las variables independientes resultaron positivas con valores mayores a 0.57 y altamente significativas, por lo cual fue necesario aplicar una prueba parcial de Mantel (Tabla 21).

Tabla 21. Prueba simple y parcial de Mantel para datos cuantitativos (peces). Para cada combinación de matrices se muestra la correlación  $r$  y la significancia  $p$ .

Prueba simple de Mantel		
	$r$	$p$
similitud biológica vs. distancia (km)	-0.482	0.006*
similitud biológica vs. días transporte	-0.584	0.009*
similitud biológica vs. factores ambientales	-0.221	0.074
distancia (km) vs. días transporte	0.938	0.001*
factores ambientales vs. distancia (km)	0.709	0.001*
factores ambientales vs. días transporte	0.579	0.001*
Prueba parcial de Mantel		
	$r$	$p$
similitud biológica vs. distancia (km) y días transporte	0.235	0.089 <i>e</i>
similitud biológica vs. días transporte y distancia (km)	-0.435	0.012 <i>e</i>
similitud biológica vs. distancia (km) y factores ambientales	-0.474	0.008*
similitud biológica vs. factores ambientales y distancia (km)	0.196	0.108 <i>e</i>
similitud biológica vs. días transporte y factores ambientales	-0.574	0.004*
similitud biológica vs. factores ambientales y días transporte	0.177	0.139 <i>e</i>

( \* ) correlaciones significativamente diferentes de cero.

( e ) correlacion espuria (Cramer, 2003).

La prueba parcial de Mantel indica que la correlación de la similitud biológica con la distancia geográfica y de la similitud biológica con la distancia en días de transporte controlando los factores ambientales fue negativa y significativa en ambos casos. Las otras combinaciones posibles resultaron espurias de acuerdo a Cramer (2003) (Tabla 21).

Las relaciones significativas encontradas se pueden apreciar en diagramas de dispersión en los que es clara la tendencia negativa en los tres casos: la similitud biológica disminuye al aumentar la distancia geográfica (Figura 28 A), los días de transporte por las corrientes (Figura 28 B) y entre más diferente es el ambiente (Figura 28 C).

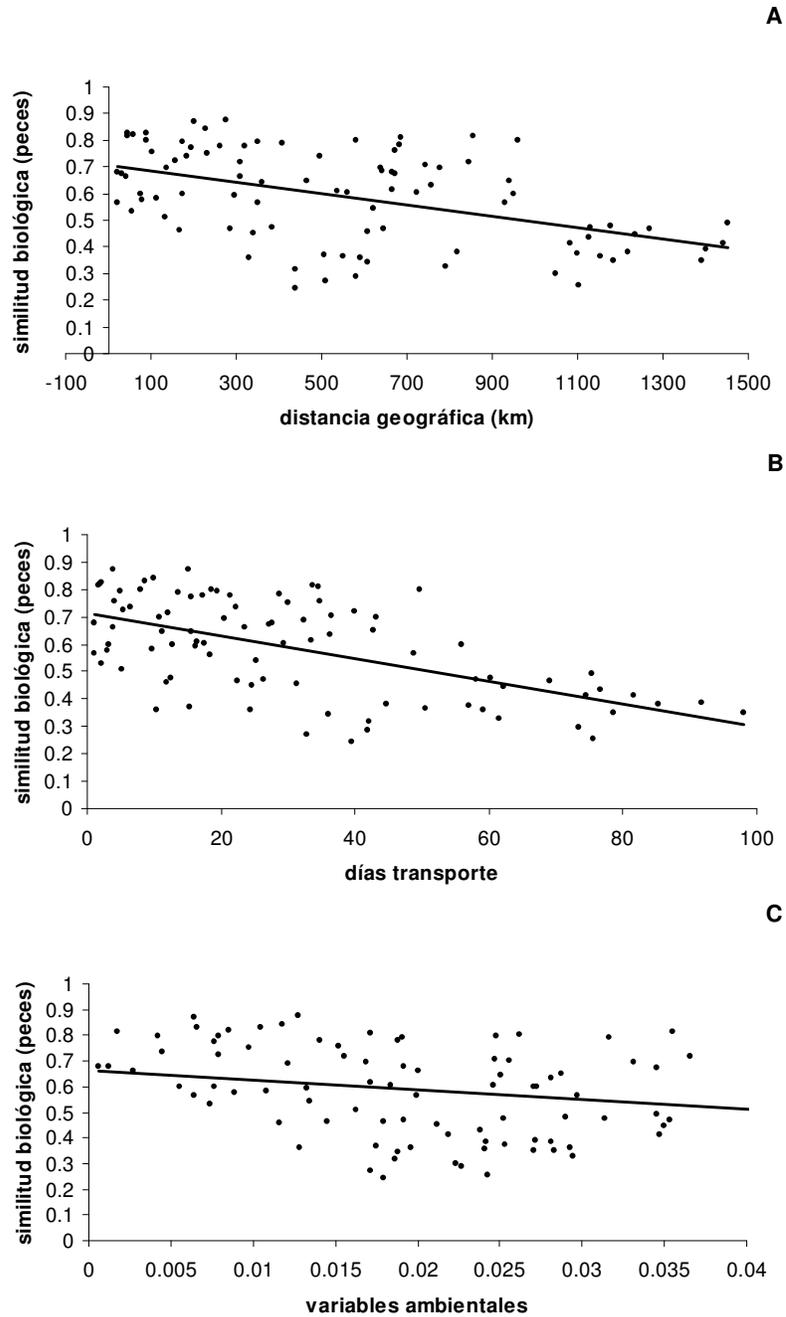


Figura 28. Dispersión dentro de las matrices consideradas en la prueba de Mantel para peces: A) similitud biológica con la distancia geográfica; B) similitud biológica con la distancia en días de transporte; C) similitud biológica con el ambiente.

Con los datos de similitud biológica promediados por intervalos constantes de los valores de distancia geográfica, días de transporte y parámetros ambientales, los diagramas de dispersión muestran de manera simplificada para los dos primeros

casos la tendencia a disminuir la similitud biológica conforme aumenta la distancia (Figura 29 A y 29 B), mientras para el tercer caso la similitud biológica no muestra una tendencia clara a disminuir conforme aumentan los valores de la variable ambiental siendo casi imperceptible con una pendiente cercana a cero (Figura 29 C).

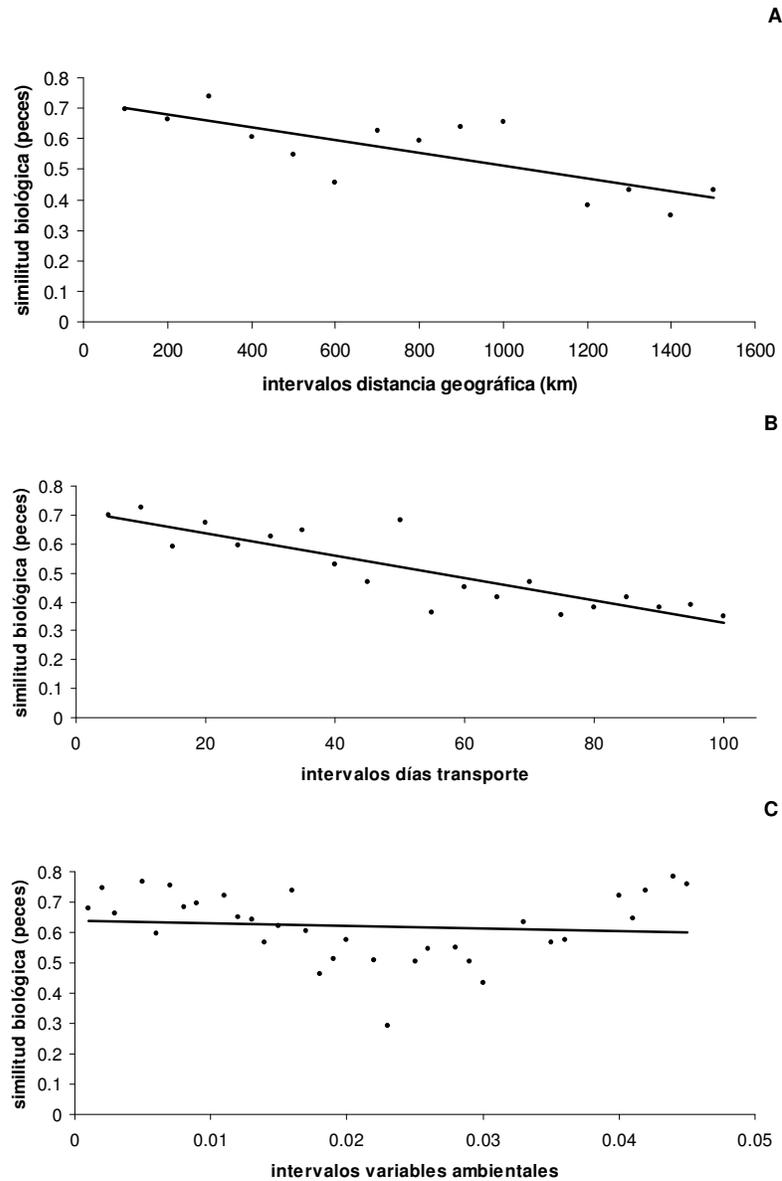


Figura 29. Dispersión y líneas de tendencia del promedio de la similitud biológica con respecto a intervalos constantes de: A) distancia geográfica (Km); B) distancia en días de transporte; C) variables ambientales.

A partir de la matriz de Diversidad beta  $\beta_{jk}$  (Tabla 22) transformada a valores de similitud biológica se hizo una correlación simple entre esta con la distancia

Tabla 26. Matriz de la Diversidad Beta entre las localidades de peces.

	Chinchorro	Mahahual	Tulum	Cozumel	Pto.Morelos	Punta_Nizuc	I.Mujeres	I.Contoy	Alacranes	Cayo_Arenas	Triangulos	Cayo_Arcas	SAV	Tuxpam	$S_{kk}$
Chinchorro	53	36	38	45	50	24	48	32	45	45	31	47	32	34	
Mahahual	0.209	38	28	32	37	16	35	23	36	34	23	34	23	22	
Tulum	0.200	0.300	42	34	42	23	40	25	38	37	27	38	25	27	
Cozumel	0.100	0.247	0.236	47	45	23	42	30	40	40	31	41	28	30	
Pto.Morelos	0.074	0.204	0.134	0.118	55	25	50	32	48	47	33	50	33	34	
Punta_Nizuc	0.385	0.492	0.313	0.361	0.375	25	23	19	23	23	15	23	16	17	
I.Mujeres	0.094	0.231	0.158	0.160	0.074	0.410	53	32	44	43	33	46	32	33	
I.Contoy	0.256	0.352	0.333	0.250	0.273	0.345	0.256	33	26	26	20	28	20	17	
Alacranes	0.118	0.172	0.165	0.167	0.077	0.378	0.137	0.366	49	46	31	45	27	32	
Cayo_Arenas	0.109	0.209	0.178	0.158	0.087	0.370	0.149	0.358	0.052	48	31	45	28	31	
Triangulos	0.287	0.361	0.289	0.235	0.258	0.492	0.241	0.403	0.253	0.244	34	34	18	20	
Cayo_Arcas	0.096	0.236	0.183	0.163	0.057	0.395	0.115	0.333	0.100	0.091	0.200	51	30	32	
SAV	0.297	0.395	0.375	0.341	0.290	0.492	0.297	0.437	0.379	0.349	0.500	0.326	38	30	
Tuxpam	0.253	0.421	0.325	0.294	0.269	0.460	0.275	0.521	0.264	0.279	0.444	0.281	0.211	38	

S<sub>ij</sub>

geográfica, con la distancia en días de transporte y con el ambiente a partir de la prueba de Mantel, dando como resultado nuevamente correlaciones  $r$  negativas, y significativa solo para los días de transporte, siendo el tercer caso el menos correlacionado (Tabla 23).

Tabla 23. Prueba simple de Mantel para Diversidad Beta transformada a similitud (peces). Para cada combinación de matrices se muestra la correlación  $r$  y la significancia estadística  $p$ .

variables	$r$	$p$
similitud biológica vs. distancia geográfica (km)	-0.282	0.069
similitud biológica vs. días de transporte	-0.371	0.045*
similitud biológica vs. variables ambientales	-0.025	0.419

De la misma forma que en los casos anteriores, la dispersión de los datos muestra nuevamente la tendencia a disminuir de la similitud biológica conforme aumentan los valores de las tres variables del caso (Figura 30 A, B, C).

Cabe mencionar que para estos tres casos la dispersión de los pares de datos es muy grande, siendo mayor para los factores ambientales, los cuales nuevamente explican poco la disminución de la similitud biológica entre localidades distantes (Figura 30 C).

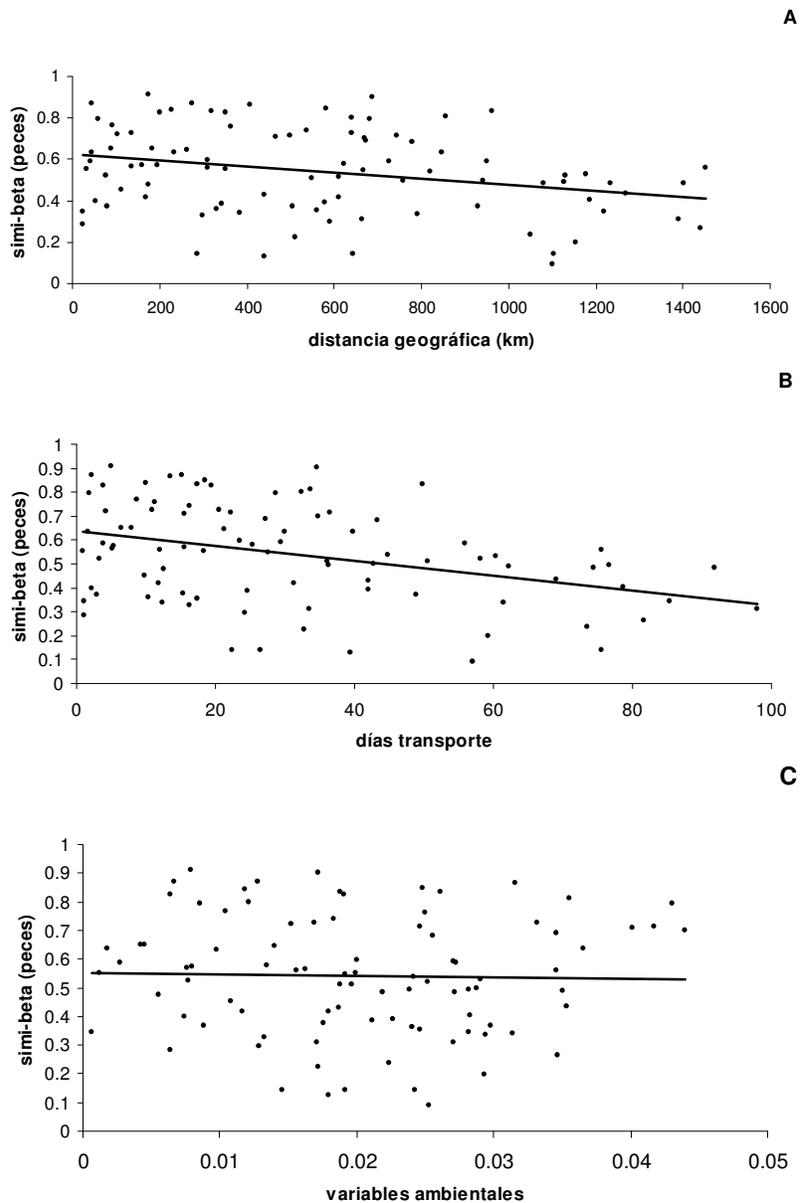


Figura 30. Dispersión de las matrices consideradas en la prueba de Mantel a partir de la diversidad beta transformada a similitud biológica: A) similitud biológica con la distancia geográfica; B) similitud biológica con la distancia en días de transporte; C) similitud biológica con las variables ambientales.

De los análisis de ordenación y siguiendo el método de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS), el arreglo resultante surge de la ubicación geográfica de las localidades y de la distribución de la abundancia de las especies que las conforman, entonces en este caso se puede describir de dos maneras; uno siguiendo el gradiente de izquierda a derecha del primer eje de variación, donde

primero aparecen las localidades de la plataforma yucateca a continuación las localidades del Caribe mexicano y en la parte mas alejada de dicho eje las localidades del Golfo de México. Mientras que siguiendo el segundo eje de variación aparecen para el Caribe mexicano las localidades acomodadas de sur a norte, para la plataforma yucateca de noreste a suroeste y finalmente las localidades veracruzanas de suroeste a noroeste (Figura 31).

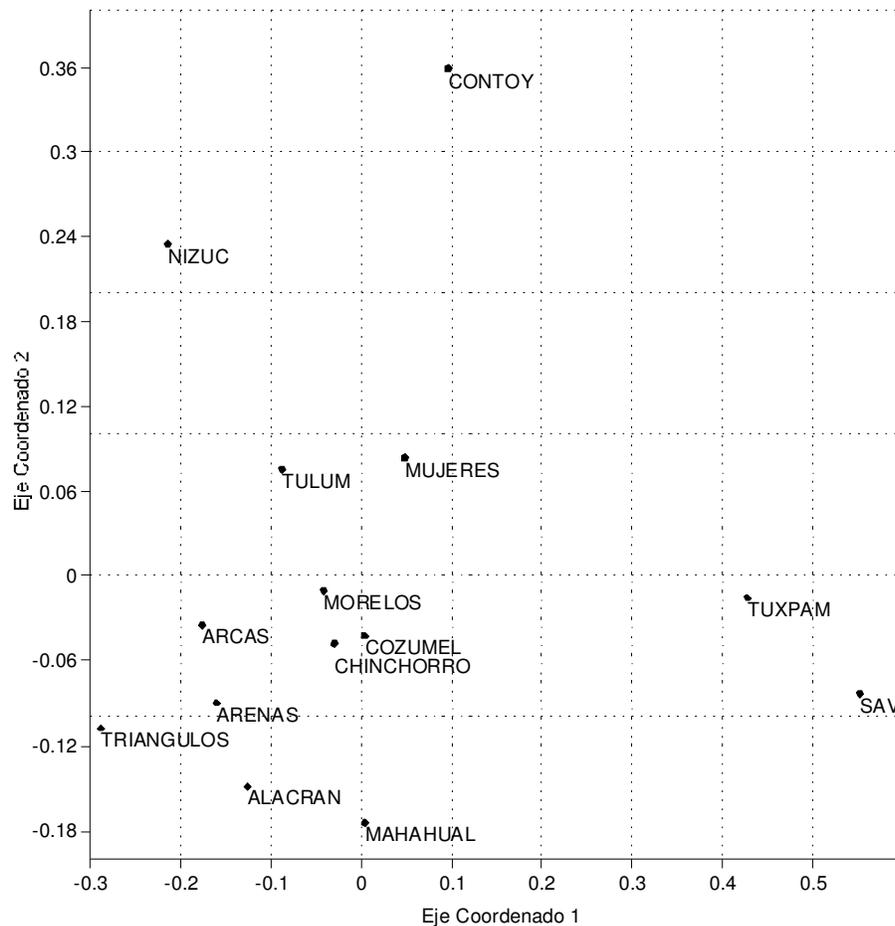


Figura 31. Análisis de ordenamiento por la técnica de escalamiento no métrico (NMDS) aplicando el índice de Morisita para localidades con datos de peces.

## Discusión

En general, la mayor parte de los trabajos biogeográficos, de distribución y sinecológicos, en los que se toma en cuenta la similitud entre localidades, paisajes, hábitats, para su estudio, en los que se analiza como ocurre el recambio de especies

entre sitios y como va disminuyendo el parecido entre las localidades conforme aumenta la distancia geográfica, se han hecho sólo con datos de presencia/ausencia y principalmente para los ambientes terrestres donde esta parte de la ecología tuvo sus orígenes (p.e., Harrison *et al.*, 1992; Blackburn & Gaston, 1996; Nekola & White, 1999; Trejo, 2005). Para el caso del ambiente marino y específicamente para los arrecifes que se describen en el presente trabajo, la información acumulada con este tipo de datos fue poco satisfactoria para definir con claridad la disminución de la similitud biológica entre localidades conforme aumentaba la distancia geográfica, la distancia en días de transporte o los cambios en el ambiente. Por el contrario, la información acumulada con los datos cuantitativos de corales y peces de los arrecifes estudiados, junto con los diferentes análisis aplicados a los mismos, nos permitió revelar que dicho principio (Nekola & White, 1999), priva en mayor o menor grado en este caso.

El espectro de distancias geográficas incluido en el análisis arrojó 351 combinaciones de localidades en las que el mínimo fue 4.8 km, entre Akumal y Chemuyil al sur de Quintana Roo, en tanto que la mayor distancia considerada fue de 1444 km entre el SAV, en la parte occidental del Golfo de México y Xcalak, en el extremo sur del Caribe mexicano. Los grupos identificados mediante el análisis de clasificación reflejan, en primera instancia, la cercanía entre los sitios pero en segunda, revelan la estructura geográfica de las localidades que permiten una regionalización o zonación “natural” que separa a los arrecifes del Golfo de México de los del Caribe mexicano. En ambos grupos existe a su vez una subestructura; en el Caribe mexicano puede subdividirse latitudinalmente en zonas Norte, Centro y Sur, mientras que en la contraparte del golfo, se pueden diferenciar los arrecifes de la porción occidental del golfo con respecto a los de la plataforma de la Península de Yucatán (Figura 7).

La distancia en días de transporte muestra un patrón general semejante al de la distancia geográfica (Figura 9) que amerita una explicación adicional. El alcance de la dispersión de una partícula originada en una localidad depende de la velocidad y la dirección de la corriente en el punto de origen. El número de días de transporte

también depende de la distancia a recorrer. Sin embargo, como la velocidad de la corriente se ve afectada por una serie de factores fisiográficos, meteorológicos y estelares (Garrison, 2004), las mismas distancias podrían ser recorridas en diferentes tiempos para localidades diferentes. En este contexto, el patrón obtenido de la clasificación de las localidades con base en estas variables tiene gran parecido con el de distancia geográfica, pero las diferencias se deben a que para algunas localidades los días de transporte difieren al margen de la distancia debido a las diferencias en la velocidad de la corriente entre ellas. Adicionalmente, una partícula de una localidad no podría ser transportada hacia otra si la dirección de la corriente forma una barrera limitando su traslado. El transporte pasivo a contracorriente es poco probable.

Por su parte, la estructura del ambiente coincide con el patrón general de agrupamiento encontrado debido al comportamiento de la corriente principal en el área que se desarrolla del Mar Caribe hacia el interior del Golfo de México (Chávez & Hidalgo, 1988; Sheinbaum *et al.*, 2001; Jordán-Dahlgren, 2002; CONANP, 2004; Marín *et al.*, 2008). Lo interesante del patrón de agrupamiento obtenido en este caso es que puede ser explicado complementariamente con base en el análisis de ordenación (Figura 13). Las localidades del Caribe mexicano son, en promedio anual, más cálidas pero menos saladas que las del Golfo de México (eje 2 del ACP); así mismo, todas las localidades de la zona norte del Caribe mexicano y las de la plataforma yucateca tienen más nitratos y silicatos mientras que, tanto en la parte occidental del golfo, como en el sur del Caribe, la concentración de fosfatos es mayor (eje 1 del ACP) (Figuras 11 y 12). La diferencia en temperatura y salinidad se puede deber tanto a la latitud como al hecho de que el Golfo de México se considera una cuenca de evaporación (Monreal-Gómez *et al.*, 1992; Biggs *et al.*, 1998; Zavala-Hidalgo *et al.*, 2004; Salas-Pérez & Granados-Barba, 2008).

Las diferencias y el patrón asociado a los nutrimentos probablemente se relacionan también con la fisiografía del Canal de Yucatán y el efecto de surgencia topográfica que tiene la corriente del Caimán cuando alcanza estas latitudes (Chávez & Hidalgo, 1988; Biggs *et al.*, 1998; Sheinbaum *et al.*, 2001; Marín *et al.*, 2008).

Con respecto a la similitud biológica para corales y partiendo de los análisis de agrupamiento convencionales, se detectó un acomodo no esperado de algunas localidades, como es el caso para el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV). Se esperaba que por su posición geográfica, el SAV se agrupara o se pareciera más a los arrecifes de la Plataforma yucateca o en el primero de los casos, a los arrecifes de Tuxpam o Lobos que se encuentran mas cerca; sin embargo, el SAV resultó ser más afín a algunos de los arrecifes del Caribe mexicano que se encuentran mucho más alejados geográficamente. Una de las razones obvias de este parecido es el número de especies que comparten: de las 16 especies de corales presentes en el SAV en el Golfo de México, 14 de ellas son comunes o compartidas con Mahahual y Akumal en el Caribe mexicano, mientras que con Cayo Arenas y el arrecife Triángulos en la Plataforma yucateca, solo comparten ocho y cinco especies, respectivamente. De manera general y en función de los patrones de agrupamiento observados, se puede decir que en el Caribe mexicano existe una elevada heterogeneidad de especies, ya que si bien, el número de especies de la región es mayor que el total de especies de coral en el Golfo de México, el número de especies que se comparten entre las localidades del Caribe es relativamente menor. En contraste, para los peces se encontró que gran número de especies se comparten y fueron comunes a todas las localidades mostrando una distribución más homogénea de la riqueza de especies entre sitios vecinos así como lejanos, por lo que en los análisis de agrupamiento las afinidades entre localidades fueran mas estrechas que las observadas para corales.

Las correlaciones entre las matrices de similitud biológica con la distancia geográfica, con los días de transporte y con el ambiente permitieron identificar una disminución significativa de la similitud biológica cuando las distancias aumentan y cuando cambia el ambiente, confirmándose en nuestro caso el paradigma de que la similitud debe de disminuir con la distancia geográfica (Nekola & White, 1999) y de manera semejante, al hacerse el ambiente más diferente. Además, de manera complementaria, los diagramas de dispersión de la similitud con respecto a las distancias, permitieron ver el comportamiento de los datos y explicar gráficamente

como disminuye la similitud biológica al incrementarse las distancias que representan las “variables independientes”, aunque cabe hacer notar que en el diagrama solo es posible representar una sola combinación de los pares de datos (la observada), mientras que la prueba de Mantel nos permite hacer de manera aleatoria un número dado (grande) de permutaciones mediante iteraciones. Esta prueba se ha venido consolidando como una herramienta inferencial para problemas multifactoriales en los que se contrastan patrones de afinidad que representan la variabilidad del problema (Manly, 1986; Fortin & Gurevitch, 1993).

Con este enfoque Steinitz *et al.* (2006) evaluaron los efectos de la distancia geográfica y la distancia ambiental sobre la similitud en la composición de especies terrestres (aves y caracoles) de las localidades mediante la prueba simple y parcial de Mantel. De la misma manera, Nekola & White (1999) mostraron en estudios de biogeografía de la vegetación de Canadá y Alaska, que con base en la prueba de Mantel la similitud biológica disminuyó significativamente con la distancia geográfica.

En este trabajo las correlaciones derivadas de la prueba de Mantel permitieron explicar el efecto de la distancia geográfica, de los días de transporte y de los cambios en el ambiente sobre la similitud biológica, encontrándose resultados con valores negativos concordantes con lo esperado. Sin embargo, las pruebas parciales, en las que se pretende fijar el efecto de una segunda matriz (relacionar la similitud biológica con los días de transporte o con el ambiente, manteniendo constante el eventual efecto de la distancia geográfica) resultaron positivas, por lo que se interpretan como correlaciones espurias (Fortin & Gurevitch, 1993; Cramer, 2003), lo que indica que la distancia en días de transporte al incluir a la distancia geográfica, no puede ser considerada estadísticamente, como independiente (Bonnet & Van de Peer, 2002; Cramer 2003). Cuando los factores ambientales fueron considerados, la relación con la similitud biológica controlando el efecto de la distancia geográfica fue ligeramente menor, pero significativa, a la obtenida en la prueba simple, lo que indica que la relación de la similitud con los factores ambientales es legítima, con un efecto marginal de la distancia geográfica.

En este sentido, Jordán-Dahlgren (2002) encontró que el número de especies y la abundancia de los gorgónidos disminuyen a partir del canal de Yucatán hacia el suroeste del Golfo de México. Dicho patrón lo atribuye a la influencia directa de las corrientes y el ambiente que rodean la plataforma yucateca, ya que retienen el flujo de material de dispersión al interior de esos arrecifes. O bien, como han demostrado otros autores, el transporte de larvas de peces y la efectiva conectividad entre arrecifes cercanos depende de la dinámica de los giros, la advección lateral de las corrientes y del ambiente al que se reclutan los juveniles (Cowen *et al.*, 2000).

La duración de una larva y el reclutamiento de las mismas a las poblaciones adultas es diferente para cada especie. Las posibilidades de dispersión dependen en gran medida de la velocidad de las corrientes. Se ha reportado que larvas de algunos tipos de corales pueden durar entre ocho horas y doce días en la columna de agua (Lugo-Fernández *et al.*, 2001). A partir de boyas de deriva y simulando las corrientes como mecanismo de transporte, se han logrado inferir las posibles rutas de dispersión de las larvas producidas en el Flower Garden Banks Coral durante eventos de desove, así como el efecto de los huracanes sobre su dispersión. Para gasterópodos de importancia comercial como *Strombus gigas* en el Caribe mexicano y plataforma de Yucatán en el Golfo de México, se ha observado que las larvas pueden durar en fase planctónica hasta un mes (Delgado *et al.*, 2005). Para peces se ha desarrollado un mayor número de estudios y se ha reportado el tiempo de duración de larvas de algunas especies como es el caso de *Amphiprion melanops* con una duración de 9 días en la columna de agua (Fisher *et al.*, 2000; Fisher & Bellwood, 2002), de *Pomacentrus amboinensis* con 20 días (Paris & Cowen, 2004), de *Sphaeramia nematoptera* con 24 días (Fisher *et al.*, 2000), de los pargos *Lutjanus analis* y *Lutjanus guttatus* que pueden durar hasta 28 días (Domeier, 2004; Boza-Abarca *et al.*, 2008) o de *Stegastes partitus* (pez damisela) con 30 días (Paris & Cowen, 2004; Ospina-Guerrero *et al.*, 2008). De algunos otros miembros de las familias Acanthuridae y Monacanthidae se ha observado que pueden durar hasta 35 días en la columna de agua (Sale, 2004), así como las posibles rutas de dispersión que siguen por efecto de las corrientes. Sin embargo, para el mantenimiento de sus poblaciones, la capacidad de retención de las mismas al interior de los sitios donde

fueron generadas obedecen a diferentes mecanismos como corrientes que crean giros y meandros, sumando a ello la fisiografía de los propios arrecifes (Black, 1993; Jordán-Dahlgren, 2002), factores que deben ser considerados para evaluar la posibilidad del alcance y éxito de los mecanismos de dispersión.

Las corrientes no solo actúan como un mecanismo de transporte de larvas, también son barreras biogeográficas que limitan su dispersión y asentamiento, sumando a ello los factores físicos tales como temperatura, salinidad y nutrientes. Al respecto se sabe que las costas de Quintana Roo están bañadas por aguas oceánicas que forman parte del extremo noroccidental del Mar del Caimán. Su porción septentrional forma parte del canal de Yucatán por donde circula una de las corrientes de frontera más dinámicas del planeta, la Corriente de Yucatán. Estas aguas se caracterizan por tener gran transparencia y fluyen en dirección sur-norte con velocidades medias de 1.5 m/s, con fluctuaciones de hasta 3 m/s, creando meandros, remolinos y una estructura vertical compleja (Chávez & Hidalgo, 1988; Marín *et al.*, 2008). Si bien esta corriente no fluye directamente sobre los arrecifes, sus aguas determinan en gran medida las condiciones físicas en el mismo, ya que las aguas son transportadas hacia el arrecife sea por efecto de la marea, por efecto del viento, por oleaje u otros mecanismos que logran penetrar la zona costera sobre la plataforma. Esta corriente además constituye el principal aporte de masas de agua a la región, las que al pasar por el estrecho de Yucatán y ascender sobre la plataforma, derivan en un flujo rico en nutrimentos con dirección noroeste (Sheinbaum *et al.*, 2001; CONANP, 2004; Carrillo *et al.*, 2007; Marín *et al.*, 2008).

Por su parte, los arrecifes de la porción occidental del golfo frente al litoral veracruzano, se encuentran en un medio marino con fuerte influencia continental debido a las descargas de sistemas fluviales que afectan el entorno, particularmente durante la época de lluvias, ya que acarrean grandes cantidades de sedimentos al mar reduciendo su transparencia; posteriormente esos sedimentos se depositan sobre el fondo cubriendo el arrecife y modificando la condición oligotrófica del ambiente necesaria para su desarrollo. Sumado a ello se crea una barrera salina que

limita el acceso de las larvas hacia esos arrecifes (Chávez & Hidalgo, 1988; Jordán-Dahlgren, 2002; Carrillo *et al.*, 2007).

En la perspectiva de los organismos, las especies de corales mas distribuidas en toda la región de estudio es probable que posean cierto grado de resistencia a los cambios en el ambiente, estrategias para encontrar el sitio adecuado para asentarse con mas éxito, mayores habilidades para competir por el espacio y mantener su papel dominante en el ecosistema. Los hexacorales *Montastraea annularis*, *Diploria strigosa*, *Montastraea cavernosa* y *Montastraea faveolata* fueron las cuatro especies mas abundantes y dominantes en los arrecifes considerados en este trabajo. Con respecto a los arrecifes localizados frente al litoral veracruzano, Chávez *et al.* (1985), así como Jordán-Dahlgren & Rodríguez-Martínez (2003) y más recientemente Chávez *et al.* (2007) mencionan que los corales masivos del género *Montastraea*, *Diploria* y *Colpophyllia* son los dominantes, al igual que para los arrecifes de la plataforma yucateca, aunque en las partes someras de algunos de estos arrecifes dominan los corales *Acropora palmata* y *Acropora cervicornis*. Para las costas del Caribe mexicano éstos últimos fueron abundantes en décadas anteriores, mientras que en la actualidad se puede observar gran cantidad de escombros de estas dos especies (Chávez & Hidalgo, 1988; Gutiérrez *et al.*, 1993; Jordán-Dahlgren & Rodríguez-Martínez, 2003).

Por otro lado, Aguilar-Ontiveros (1998) menciona que las especies *Montastraea annularis* y *Montastraea cavernosa* son mas competitivas por alimento a mayores profundidades que otros escleractinios, ya que sus pólipos de mayor tamaño incrementan su capacidad de alimentación heterotrófica. Las formas ramificadas de los corales son más eficaces en zonas someras, pues su morfología, así como la presencia de pólipos de pequeño tamaño, aumenta la superficie de captación lumínica y promueve la velocidad de calcificación. Su frágil estructura favorece su reproducción por fragmentación, así como su capacidad de crecer sobre colonias masivas, estableciéndose como especies dominantes en el frente arrecifal somero.

Por su parte, Patiño del Olmo (2004) reporta que *Montastraea annularis*, *Montastraea cavernosa* y *Acropora palmata* son algunas de las especies dominantes para Punta Nizuc en el Caribe mexicano, en todos los biotopos, que no existe ningún factor físico como corrientes, profundidad y distancia que los limite a ciertas zonas. Ambas especies son consideradas como las principales formadoras de arrecifes (Patiño del Olmo, 2004; Chávez *et al.*, 2007).

Con respecto a los peces, se encontró que el mayor número de especies estuvieron bien representadas en el área de estudio encontrando que *Mycteroperca bonaci*, *Hypoplectrus guttavarius*, *Scarus coelestinus*, *Pempheris schomburgkii*, *Lutjanus apodus*, *Megalops atlanticus*, *Haemulon flavolineatum*, *Haemulon chrysargyreum*, *Scarus coeruleus* y *Lutjanus analis* fueron las diez especies con la mayor abundancia y dominancia. Al respecto González-Gándara (1996) menciona que algunos miembros de las familias Haemulidae, Pomacentridae y Labridae son típicos de zonas donde se desarrollan corales de los géneros *Acropora* y *Millepora*, ya que estos crean grandes espacios que permiten el movimiento rápido y la protección de los peces.

Al interpretar como una mayor conectividad a la similitud existente entre aquellos arrecifes que fueron más afines entre si por su composición, abundancia y riqueza específica, llama la atención la alta similitud para corales encontrada entre los arrecifes de la región central del Caribe mexicano con los arrecifes del SAV; este resultado es un tanto contradictorio debido a la gran distancia que los separa así como a las condiciones ambientales que imperan en cada región. Entonces, considerando que de Punta Allen en la región central del Caribe mexicano, hasta los arrecifes del SAV hay 1269 kilómetros de distancia y tomando en cuenta que los días de transporte para cubrir esta distancia serían alrededor de 88 días con el patrón de corrientes promedio anual, la capacidad de sobrevivencia de una larva para ser transportada de una sola vez es poco probable ya que como se mencionó anteriormente, el tiempo de duración de las mismas en la columna de agua es de alrededor de 35 días (Fisher *et al.*, 2000; Fisher & Bellwood, 2002; Lugo-Fernández *et*

*al.*, 2001; Paris & Cowen, 2004; Domeier, 2004; Delgado *et al.*, 2005; Boza-Abarca *et al.*, 2008; Ospina-Guerrero *et al.*, 2008).

La interpretación de la desviación del SAV a la relación esperada entre similitud y distancia, se puede evidenciar quitando esta localidad del diagrama de dispersión. Al quitar todas las similitudes que combinan con el SAV se aprecia que no solo cambia la pendiente, sino que la relación entre similitud y distancia es mas estrecha al aumentar la correlación de 0.513 con el SAV a una correlación de 0.662 sin el SAV (Figura 32).

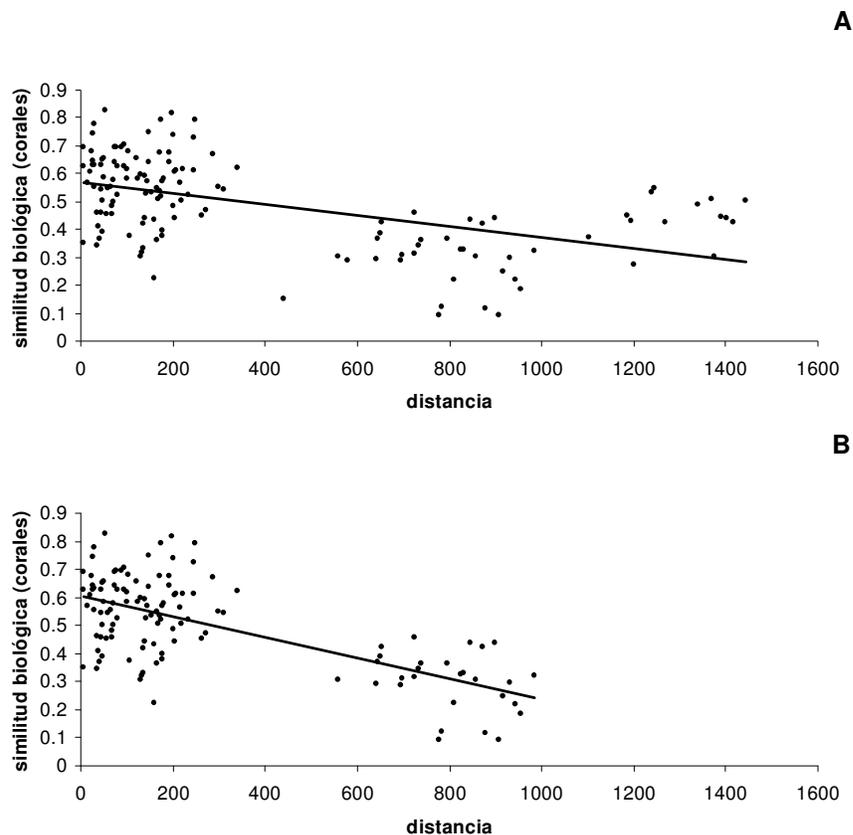


Figura 32. Relación entre similitud biológica y distancia: A) menor correlación con el SAV; B) mayor correlación sin el SAV.

El efecto es más evidente al considerar los datos agrupados por intervalos constantes de distancia para los que la correlación cambia de 0.402 cuando está incluido el SAV a una correlación de 0.914 cuando se excluye al SAV (Figura 33).

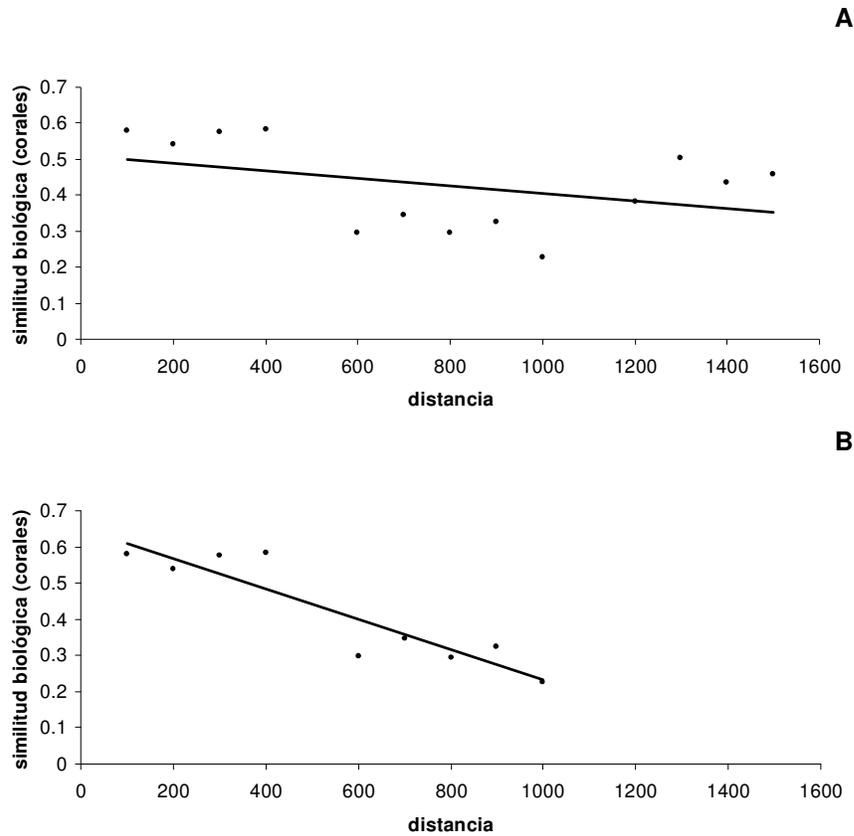


Figura 33. Relación entre similitud biológica con respecto a intervalos constantes de distancia: A) menor correlación con el SAV; B) mayor correlación sin el SAV.

En el caso de los peces se encontró una distribución mas homogénea de especies entre localidades, un mayor número de especies fueron compartidas y los patrones de agrupamiento estuvieron bien definidos por regiones geográficas. Aunque las correlaciones fueron mas bajas y los diagramas de dispersión mostraron una elevada variación en los datos, se puede interpretar que en el caso de los peces existe una mayor conectividad relativa entre localidades con respecto a la observada para corales. Por ejemplo, González-Gándara (1996) encontró que las localidades de Tuxpam y el SAV fueron muy afines al arrecife de Cozumel, confirmando la semejanza entre las faunas de peces del Golfo de México y el Caribe mexicano. El mismo autor menciona que existen especies que presentan una amplia distribución

entre zonas y hábitats, mientras que otras están restringidas a determinadas localidades y añade que dicho patrón está usualmente relacionado con la densidad, de manera que las especies comunes tienden a estar distribuidas mas ampliamente que las especies raras (González-Gándara, 2001).

Entre los factores naturales que provocan cambios drásticos en la estructura de las comunidades coralinas se encuentran los huracanes, fenómenos extraordinarios que también tienen como posible efecto la dispersión de larvas reduciendo en un tiempo considerable el desplazamiento o transporte de éstas a sitios mas alejados de donde fueron originadas, aunque al mismo tiempo se debe considerar también el posible daño físico provocado por la fuerte turbulencia causadas por el fenómeno. Para el arrecife Flower Garden Banks al norte del Golfo de México frente a las costas de Texas-Louisiana en E.U., se encontró que la ruta de dispersión que siguen las larvas producidas en ese arrecife es modificada por los efectos de los huracanes (Lugo-Fernández *et al.*, 2001). Se menciona además que bajo estas condiciones un huracán puede inducir un gran desplazamiento en un corto periodo de tiempo causando una fuerte dispersión de larvas, así como la mezcla vertical y horizontal de la columna de agua (Lugo-Fernández *et al.*, 2001; Jordán-Dahlgren, 2002).

Se ha observado que la temporada de desove de los corales en este arrecife coincide en buena medida con la época de huracanes en el Golfo de México, lo que ha permitido inferir que bajo esas condiciones hay una reducción en el tiempo de transporte, se incrementa en extensión geográfica la dispersión ayudando a las larvas a llegar al ambiente adecuado o bien, alejándolas de él. Se estimó que la masa desovada en dicho arrecife puede tener una influencia efectiva en un radio de 40 km, pero no se puede descartar que aquellos arrecifes como los de los Cayos de Florida y los que se ubican en el Golfo de México frente al litoral veracruzano, pudieran recibir la influencia del desove ocurrido al noroeste del Golfo de México gracias a los huracanes (Lugo-Fernández *et al.*, 2001; Jordán-Dahlgren, 2002).

Los efectos del impacto acumulado de los huracanes sobre los ecosistemas arrecifales, se traducen en un incremento en la heterogeneidad del hábitat y las

especies que lo componen; de ese modo se promueve o se mantiene una alta riqueza de especies a nivel regional. Para aquellas localidades que pudieran encontrarse aisladas o limitadas por el flujo de material de dispersión, el efecto de un huracán le permite recibirlo de otros sitios mas alejados y en consecuencia renovar o mantener sus poblaciones (Lugo-Fernández *et al.*, 2001; Jordán-Dahlgren, 2002; Presley, 2008).

La relación entre la heterogeneidad del hábitat y la riqueza de especies se ha ejemplificado mejor en ecosistemas terrestres, donde las barreras biogeográficas y los efectos de los huracanes son más evidentes. En un estudio sobre las asociaciones de murciélagos que habitan las islas caribeñas, donde la sola distancia que las separa tiene un fuerte efecto en la composición de especies, la similitud entre localidades cercanas es menor, mientras que entre islas más alejadas se encontró que compartieron mayor número de especies debido principalmente al efecto acumulado del impacto de los huracanes (Presley, 2008).

En este contexto, la mayor similitud entre los arrecifes del SAV con los de la zona centro del Caribe mexicano, así como la mayor heterogeneidad de especies de hexacorales a nivel regional en el Caribe mexicano, parecen indicar que son consecuencia, en el primer caso, de una acumulación histórica de riqueza específica en el marco de una mayor estabilidad relacionada con una baja frecuencia de huracanes, mientras que en el segundo caso, las perturbaciones recurrentes de los huracanes en el Caribe han provocado una serie de eventos de destrucción y recolonización que en la perspectiva temporal y los diferentes alcances y especies en dispersión, han producido una región muy diversa pero de relativamente baja riqueza y similitud a nivel local. El patrón de conectividad identificado para los peces es menos claro debido a que las similitudes son mas laxas. La diferencia con respecto a los corales es que estos son sésiles y sufren los efectos de los huracanes de manera directa e ineludible. En cambio los peces, con su capacidad de desplazamiento, es probable que respondan a la señal de perturbación de los huracanes desplazándose a mayores profundidades por lo que una vez terminado el fenómeno, la comunidad retorna mucho más rápido y con menos consecuencias negativas a su condición

anterior, desplazándose de las zonas de refugio a mayor profundidad a los ambientes habituales.

Al respecto, se puede mencionar que huracanes de gran magnitud pueden causar disminuciones significativas en la cobertura de especies masivas de coral y en consecuencia, la riqueza y abundancia de los peces también se ve disminuida, tal y como fue observado para los arrecifes de las islas Vírgenes E.U., después del huracán Hugo (1989) o en Jamaica después del huracán Allen (1983) (Kaufman, 1983), pero donde los peces después de unas cuantas semanas del evento, retornaron a sus arrecifes (Rogers & Miller, 2006).

Muchos de los huracanes se forman en el Mar Caribe desplazándose con una trayectoria hacia el noroeste para posteriormente entrar al Golfo de México a través del Canal de Yucatán, o bien pueden cruzar la península de Yucatán y continuar su trayectoria por el Golfo de México. Retomando lo antes mencionado, se documentó que en los últimos 157 años (National Hurricane Center, 2008), la frecuencia de huracanes y su impacto acumulado (medido como la frecuencia ponderada por la fuerza del fenómeno en la escala Saffir-Simpson) ha sido de diferente nivel según la región de que se trate. En el Golfo de México se han registrado en total 28 huracanes, de los cuales 17 han alcanzado a los arrecifes de la plataforma yucateca siendo estos principalmente de categoría uno (H1). Los arrecifes de la región norte de Veracruz (Tuxpam e I. Lobos) han sido impactados por 12 huracanes en total, la mayoría de nivel uno; por su parte, los arrecifes que menor número de huracanes han recibido son los del SAV con tan solo dos eventos. Para el Caribe mexicano que es la zona con el mayor impacto acumulado de huracanes, se pueden mencionar 49 en total, donde la zona norte ha sido la mas impactada con 28 huracanes de todas las categorías H1 a H5; citando algunos de los más destructivos tenemos al Gilberto en 1988 y el Wilma en 2005; para la región centro y sur han sido 11 y 10 huracanes respectivamente. Cabe mencionar para la región sur que dos han sido nivel H4 y dos nivel H5, mientras para la región centro dos han sido nivel H4 y ninguno nivel H5, que coincide con lo mencionado por Jordan-Dalhgren (2003) y Horta-Puga (2007), (Tabla 27 y Figura 34).

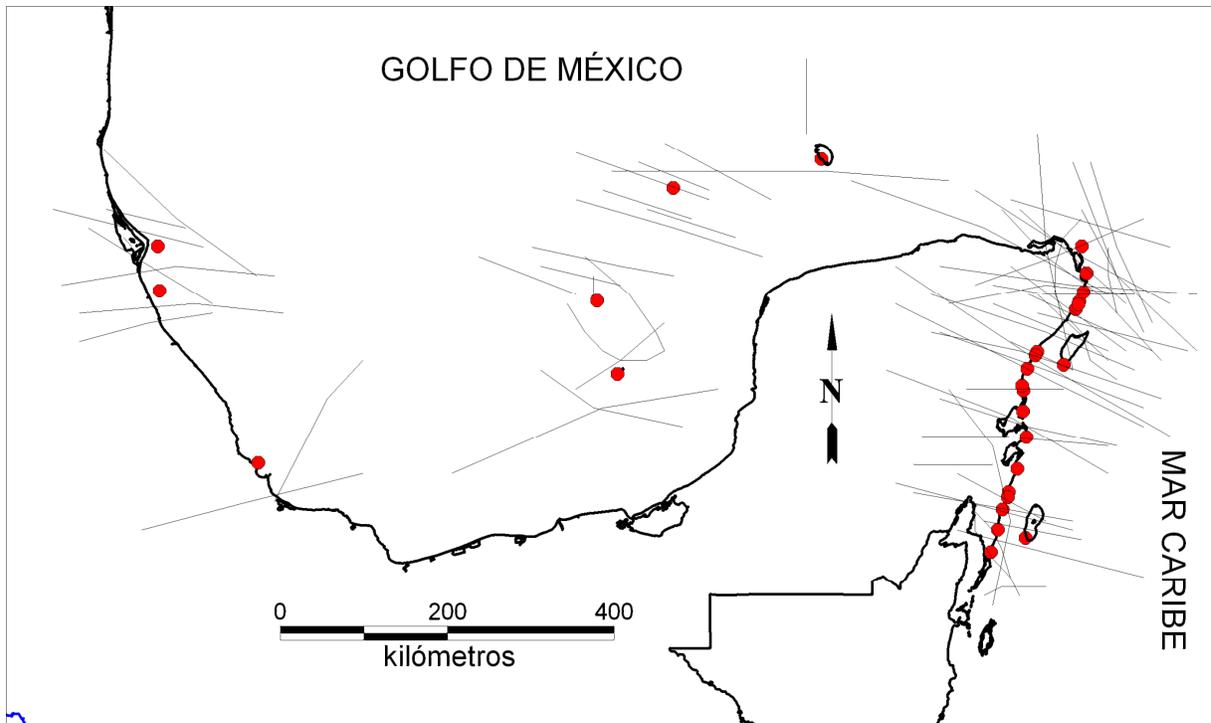


Figura 34. Impacto de huracanes representados con líneas, considerando un área con radio de 50 km alrededor de cada localidad para el período 1851-2007.

Tabla 24. Frecuencia de huracanes e impacto acumulado en las regiones bajo estudio. H1..H5 es la magnitud de los huracanes de acuerdo a la escala Safir-Simpson. Se consideró el eventual impacto de los huracanes o ingreso al área de radio de 50 km alrededor de cada localidad incluida en el estudio. El impacto acumulado en cada región para el período 1851-2007 resulta de ponderar la frecuencia de huracanes por su magnitud en la escala y sumándolos por región.

Región	H1	H2	H3	H4	H5	Total	Impacto
Veracruz Norte	6	3				9	12
Veracruz Sur	1	1				2	3
Plat. Yucatán	12	4	1			17	23
Caribe Norte	8	13	3	3	1	28	60
Caribe Centro	3	5	1	2		11	24
Caribe Sur	5	1		2	2	10	25
Caribe total	16	19	4	7	3	49	109

Finalmente, con base en todos los resultados y evidencias acumuladas el modelo conceptual de conectividad de los arrecifes coralinos del Golfo de México y Caribe mexicano puede plantearse que inicia en los arrecifes al sur de las costas de Quintana Roo con el arrecife Xcalak y/o con Banco Chinchorro, para continuar hacia

el norte pasando por los arrecifes de la región central y hasta el arrecife más norteño (Isla Contoy) para después subir a la plataforma yucateca. A partir de ese punto una de las rutas se dirige hacia el interior del Golfo de México con el arrecife Alacranes al noreste del mismo y de ahí continuar hasta los arrecifes de la región noroeste del Golfo de México con los arrecifes de I. Lobos y posteriormente bajando hacia los arrecifes de Tuxpam al norte de Veracruz. A continuación y siguiendo la costa la ruta llega finalmente a los arrecifes del SAV frente al puerto de Veracruz. A partir del arrecife Alacranes la otra ruta posible es continuar hacia el sur del Golfo de México para llegar al arrecife Triángulos o bien a los arrecifes de Cayo Arcas finalizando la ruta en cada posibilidad (Figura 35).

Las rutas propuestas obedecen en gran medida a los flujos de las corrientes predominantes, principalmente y de manera particular, para el Golfo de México los giros que se generan a partir de la Corriente de Lazo y que fluyen hacia la parte central del golfo, genera una trayectoria primero hacia la parte oeste chocando frente a las costas de Veracruz y Tamaulipas que desvían la corriente en dos flujos, uno que se dirige al norte hacia las costas de E.U.A., y otro que se dirige hacia el sur por la costa de Veracruz (Mariano *et al.*, 1995; Zavala-Hidalgo & Fernández-Eguiarte, 2004; Salas-Pérez & Granados-Barba, 2008).

Lo anterior permite explicar por que a partir de los arrecifes Triángulos y Cayo Arcas es casi improbable que continúe la ruta de conectividad hacia los arrecifes de Veracruz (Figura 35).

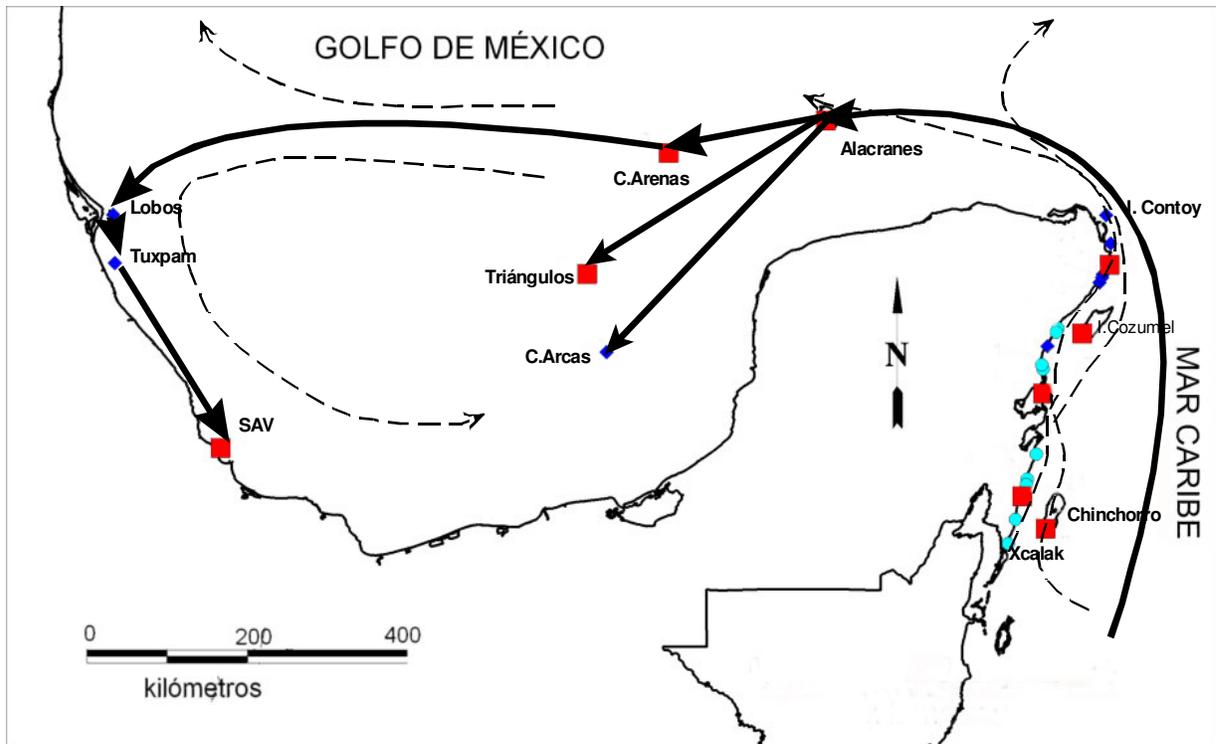


Figura 35. Modelo Conceptual de la Conectividad de los arrecifes del Golfo de México y Caribe mexicano, las flechas indican la ruta de conectividad y las líneas punteadas el patrón general de las corrientes.

Queda pendiente considerar más grupos florísticos y faunísticos para corroborar o rechazar la hipótesis de que los arrecifes del SAV han acumulado mayor diversidad dados los esporádicos eventos de conectividad resguardados por la mayor estabilidad con respecto a estos eventos de perturbación significativa y recurrente.

## Conclusiones

La correlación (prueba de Mantel) de la similitud biológica con respecto a la distancia geográfica, con la distancia en días de transporte por las corrientes y con la similitud ambiental, arrojó resultados significativos, corroborando que la similitud biológica disminuye al incrementarse las distancias. El patrón se mostró más discernible con base en los datos de abundancia que con los datos de presencia/ausencia.

Con base en la distancia geográfica, los días de transporte y las variables ambientales, los arrecifes del Caribe mexicano se separaron como grupo, con

respecto a los arrecifes de la Plataforma yucateca y de los del Golfo de México; sin embargo, considerando solo los corales, los arrecifes del SAV resultaron más parecidos a los arrecifes del Caribe mexicano.

El parecido entre los arrecifes del SAV con los del Caribe se explica a partir de una hipótesis de estabilidad, donde los arrecifes que se ubican al sur de Veracruz son menos afectados por los huracanes, propiciando una acumulación progresiva de especies caribeñas, haciendo al SAV más similar al Caribe que a aquellos arrecifes al norte de Veracruz o de la Plataforma yucateca que se encuentran más cerca, pero que han tenido una mayor incidencia de huracanes.

La alta heterogeneidad de especies de hexacorales a nivel regional en el Caribe mexicano parece indicar que son consecuencia de una acumulación histórica de especies provenientes del Gran Caribe, mientras que las perturbaciones recurrentes de los huracanes en el área han provocado una serie de eventos de destrucción y recuperación que han producido una región muy diversa pero con relativamente baja riqueza y similitud a nivel local.

El patrón de conectividad identificado para los peces es menos claro debido a que las similitudes son más laxas. La diferencia con respecto a los corales es que estos son sésiles y sufren los efectos de las perturbaciones de manera directa e ineludible. En cambio los peces, con su capacidad de desplazamiento, es muy probable que respondan a la señal de perturbación de los huracanes desplazándose a mayores profundidades, por lo que una vez terminado el fenómeno, la comunidad retorna mucho más rápido y con menos consecuencias negativas a su condición anterior, desplazándose de las zonas de refugio a mayor profundidad a los ambientes habituales más someros.

El modelo conceptual que esquematiza la conectividad de los arrecifes del Golfo de México y del Caribe mexicano plantea que la ruta inicia con Banco Chinchorro, continua hacia el norte hasta el canal de Yucatán y sube a la plataforma yucateca. De aquí diverge hacia los arrecifes del sur de la plataforma (Triángulos y Arcas) y hacia la parte occidental del Golfo de México llegando a los arrecifes Lobos y

Tuxpan, para finalmente conectar con el SAV hacia el sur. Este modelo basado en los análisis de similitud biológica coincide y se refuerza con los patrones generales de circulación oceánica en el Golfo de México.

Las evidencias acumuladas a partir de la similitud biológica y como ésta disminuye al aumentar las distancias, permitieron interpretar las posibles rutas de conectividad y confirmar que los niveles de conectividad pueden ser potencialmente bajos del Caribe mexicano al interior del Golfo de México, por lo que se puede decir que el uso de patrones de similitud biológica entre localidades son una herramienta útil para interpretar la conectividad ecológica la cual es un elemento que debe coadyuvar al manejo racional y a la conservación de estos ecosistemas.

### **Recomendaciones y sugerencias para análisis futuros**

Es pertinente considerar mayor número de grupos o taxa para corroborar o rechazar la hipótesis de que los arrecifes del SAV han acumulado mayor diversidad dados los eventos de conectividad resguardados por la mayor estabilidad con respecto a los eventos de perturbación significativa y recurrente como son los huracanes.

Debido a las condiciones ambientales que imperan localmente y que permitieron identificar la mayor heterogeneidad de especies de hexacorales a nivel regional, valdría la pena explorar con mayor detalle los patrones de similitud biológica considerando nuevamente la distancia geográfica, los días de transporte, los factores ambientales, pero sumando a lo anterior las posibles rutas de dispersión de algunas especies de larvas a partir de modelos de simulación a mesoescala.

## Referencias Bibliográficas

- Aguilar-Ontiveros D. 1998. *Estructura de la comunidad bentónica del arrecife de Mahahual, Quintana Roo, México*. Tesis de Maestría en Biología marina. CINVESTAV-IPN. Unidad Mérida Yucatán, México. 82 p.
- Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment (AGRRA) 2006. Database and Summary Products for 1997-2004 V1.2. <http://www.agrra.org/>
- Bell G., M.J. Lechowicz, A. Appenzeller, M. Chadler, E. De Blois, L. Jackson, B. Mackenzie, R. Preziosi, M. Schallenberg & N. Tinker. 1993. The spatial structure of the physical environment. *Oecologia*, 96:114-121.
- Biggs D.C., A. Gallegos, I. Victoria, J. Aldeco, H. Herrera, & D. López. 1998. Upper layer geostrophic transport of the Yucatán Current and Loop Current, 1994-1995. *Caribbean Journal of Science*. 34(1-2):33-40.
- Black K.P. 1993. The relative importance of local retention and inter-reef dispersal of neutrally buoyant material on coral reefs. *Coral Reefs*. 12: 43-53.
- Blackburn T.M. & K.J. Gaston. 1996. The distribution of bird species in the New World: patterns in species turnover. *Oikos*, 77: 146-152.
- Bonnet E. & Y. Van de Peer. 2002. zt: a software tool for simple and partial Mantel test. Department of Plant Systems Biology. Belgium. 1-12. <http://www.psb.ugent.be/~exbon/mantel/>
- Borges-Souza J.M. 2003. *Estructura y composición de la comunidad bentónica de los arrecifes de Quintana Roo, México*. Tesis de Maestría en Manejo de Recursos marinos. CICIMAR-IPN. La Paz B.C.S., México. 120 p.
- Boza-Abarca J., E. Calvo-Vargas, N. Solis-Ortiz & J. Komen. 2008. Induced spawning and larval rearing of spotted rose snapper, *Lutjanus guttatus*, at the Marine Biology Station, Puntarenas, Costa Rica. *Ciencias Marinas*. 34(2): 239-252
- Brooks T.M., S.L. Pimm & J.O. Oyugi. 1999. Time lag between deforestation and bird extinction in tropical forest fragments. *Conservation Biology*. 13:1140-1150.
- Callum M.R. 1997. Connectivity and management of Caribbean coral reefs. *Science*. 278:1454-1457.

- Carrillo L., G. Horta-Puga & J.P. Carricart-Ganivet. 2007. Climate and Oceanography. Pp. 34-40. *In: Tunnell Jr. J.W., E.A. Chávez, & K. Withers (Ed.). Coral Reef of the Southern Gulf of Mexico.* Texas A&M University Press College Station. 194 p.
- Castañares L.G. 1981. Estudio sobre los corales escleractinios hermatípicos de la costa noreste de la península de Yucatán, México. Parte 1: sinopsis taxonómica de 38 especies (Cnidaria, Anthozoa, Scleractinia). *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM.* 1-106.
- Castro-Aguirre J.L. & A. Márquez-Espinoza. 1981. Contribución al conocimiento de la ictiofauna de la isla de Lobos y zonas Adyacentes. Veracruz-México. *Dirección General del Instituto Nacional de Pesca.* 22:1-85.
- Castro-Pérez J.M. 1998. *Estructura de la comunidad de peces asociada al arrecife de Mahahual, Quintana Roo, México.* Tesis de Maestría en Biología marina. CINVESTAV-IPN. Unidad Mérida Yucatán, México. 66 p.
- Chao A., R.L. Chazdon, R.K. Colwell & T.J. Shen. 2005. Un nuevo método estadístico para la evaluación de la similitud en la composición de especies con datos de incidencia y abundancia. Pp. 85-96. *In: Halffter G., J. Soberón, P. Koleff & A. Melic (eds.). Sobre Diversidad Biológica: el significado de las Diversidades Alfa, Beta y Gamma.* 2005. m3m-Monografías 3er Milenio, vol.4 SEA, CONABIO, Grupo DIVERSITAS & CONACYT, Zaragoza. IV. 242 p.
- Chávez E., E. Hidalgo & Ma. L. Sevilla. 1970. Datos acerca de las comunidades bentónicas del Arrecife de Lobos, Veracruz. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural.* Tomo XXX. 211-280.
- Chávez E. & E. Hidalgo. 1988. Los arrecifes coralinos del Caribe Noroccidental y Golfo de México en el contexto socioeconómico. *An.Inst.Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM 15(1):167-176.
- Chávez E.A., E. Hidalgo & M.A. Izaguirre. 1985. A comparative analysis of Yucatan coral reefs. *Proceeding of the Fifth International Coral Reef Congress, Tahiti.* Vol. 6: 355-361.
- Chávez E.A. 1994. Los recursos marinos de la Península de Yucatán. Pp. 1-12. *In: A. Yáñez-Arancibia (Ed.). Recursos Faunísticos del Litoral de la Península de Yucatán.* Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX Serie Científica, 2.136 p.

- Chávez E.A., J.W. Tunnell Jr. & K. Withers. 2007. Reef Zonation and Ecology: Veracruz Shelf and Campeche Bank. Cap. 5. Pp. 41-67. *In: Tunnell Jr. J.W., E.A. Chávez & K. Withers (Ed.). Coral Reef of the Southern Gulf of Mexico.* Texas A&M University Press College Station. 194 p.
- CONANP. 2004. *Programa de Conservación y Manejo. Parque Nacional Arrecife Alacranes.* México 89 p.
- Cowen R.K., K.M.M. Lwiza, S. Sponaugle, C.B. Paris & D.B. Olson. 2000. Connectivity of marine populations: open or closed? *Science* 287:857-859
- Cowen R.K., C.B. Paris & A. Srinivasan 2006. Scaling of connectivity in marine populations. *Science*. 311: 522-527
- Cramer D. 2003. A cautionary tale of two statistics: Partial Correlation and standardized Partial Regression. *The Journal of Psychology*. 137(5): 507-511
- Delgado G.A., R.A. Glazer, D. Aldana-Aranda, A. De Jesus-Navarrete & L. Rodriguez-Gil. 2005. Identifying larval sources and sinks in the Florida Keys and Mexico using drift vials. *58th annual Gulf and Caribbean fisheries institute*. 12 p.
- De La Cruz-Agüero G. 1994. *ANACOM. Sistema para el Análisis de Comunidades.* Versión 3.0. Manual de usuario. CINVESTAV-IPN, Unidad Mérida. 99 p.
- Domeier M.L. 2004. A potential larval recruitment pathway originating from a Florida marine protected area. *Fish. Oceanogr.* 13:5. 287-294.
- Field J.G., K.R. Clarke & R.M. Warwick. 1982. A practical strategy for analyzing multispecies distribution patterns. *Marine Ecology Progress Series*. 8:37-52
- Fisher R., D.R., Bellwood. & S.D. Job. 2000. Development of swimming abilities in reef fish larvae. *Marine Ecology Progress Series*. 202: 163-173
- Fisher R. & D.R., Bellwood. 2002. The influence of swimming speed on sustained swimming performance of late-stage reef fish larvae. *Marine Biology*. 140: 801-807
- Fortin M.J. & J. Gurevitch. 1993. Mantel test: spatial structure in field experiments. Pp. 342-359. *In: S.M. Scheiner & J. Gurevitch, Eds. Design and analysis of ecological experiments.* Chapman and Hall, New York. 445 p.
- Froese R. & D. Pauly. Editors. 2008. *FishBase.* World Wide Web electronic publication. [www.fishbase.org](http://www.fishbase.org), versión (07/2008).

- Garduño-Andrade M. 1988. *Distribución de la ictiofauna asociada a los arrecifes del Caribe mexicano*. Tesis de Maestría en Biología marina. CINVESTAV-IPN. Unidad Mérida Yucatán, México. 59 p.
- Garrison T.S. 2004. *Essentials of oceanography*. 3rd Ed. Brooks Cole Publishers, New York. 352 p.
- González M.A., E.A. Chávez, G. De la Cruz & D. Torruco, 1991. Distribution patterns of gastropods and bivalves at the Yucatan Peninsula, Mexico. *Ciencias Marinas*. 17( 3 ): 147-172
- González-Gándara C. 1996. *Asociaciones de peces del arrecife Tuxpan, Veracruz, México y su comparación con un arrecife cubano*. Tesis de Maestría en Biología Marina. Universidad de la Habana, Cuba. 56 p.
- González-Gándara C. & G. González-Sansón. 1997. Composición y abundancia de la Ictiofauna del arrecife Tuxpan, Veracruz, México. *Rev. Invest. Mar.* 18(3): 249-258.
- González-Gándara C. 2001. *Las comunidades de peces del Arrecife Alacranes, Yucatán, México: Variación espacio-temporales*. Tesis Doctoral en Ciencias Marinas. CINVESTAV-IPN. 192 p.
- González-Gándara C. 2001. Lista actualizada de los peces del arrecife Alacranes, Yucatán, México. *Anales del Instituto de Biología. UNAM. Serie Zoología* 72(2): 245-258. 2001.
- González-Gándara C. 2003. Ictiofauna de los arrecifes coralinos del norte de Veracruz. *Anales del Instituto de Biología, UNAM, Serie Zoología* 74(2): 163-177.
- González-Gándara C. 2007. Comunicación personal. Investigador de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana.
- Gómez de Silva H. 2005. Límites inferiores de la diversidad alfa de aves en México y contribuciones del estudio de comunidades con baja diversidad. Pp. 97-108. *In: Halffter G., J. Soberón, P. Koleff & A. Melic (eds.). Sobre Diversidad Biológica: el significado de las Diversidades Alfa, Beta y Gamma*. m3m-Monografías 3er Milenio, vol.4 SEA, CONABIO, Grupo DIVERSITAS & CONACYT, Zaragoza. IV. 242 p.

- Grimm, E.C. 1987. CONISS: a FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computer and Geosciences*, 13:13-35. <http://museum.state.il.us/pub/grimm>
- Gutiérrez D., C. García-Sáez, M. Lara & C. Padilla. 1993. Comparación de Arrecifes Coralinos: Veracruz y Quintana Roo. Pp. 787-806 *In: Salazar-Vallejo S.I. & N.E. González (eds.). Biodiversidad Marina y Costera de México*. CONABIO y CIQRO, 865 p.
- Gyory J., A.J. Mariano & E.H. Ryan. 2008. Ocean Surface Currents. <http://oceancurrents.rsmas.miami.edu>
- Hammer O. & D.A.T. Harper. 2005. *Paleontological data analysis*. Blackwell Publishing, Oxford. 351 p.
- Harrison, S., S.J. Ross & J.H. Lawton. 1992. Beta Diversity on Geographic gradients in Britain. *Journal of Animal Ecology*. 61: 151-158.
- Hernández-Landa R.C. 2004. *Variación espacial de la cobertura de corales escleractinios y descripción de condición arrecifal a lo largo del Caribe mexicano y un arrecife del Banco de Campeche*. Tesis de Maestría en Biología Marina. CINVESTAV-IPN. Unidad Mérida Yucatán, México. 102 p.
- Horta-Puga G. & Carricart-Ganivet J.P. 1993. Corales pétreos recientes (Milleporina, Stylasterina y Scleractinia) de México. Pp. 64-78. *In: Salazar-Vallejo S.I. & N.E. González (eds.). Biodiversidad Marina y Costera de México*. CONABIO y CIQRO, México. 865 p.
- Horta-Puga G. 2007. Environmental Impacts. Pp. 126-140. *In: Tunell Jr. J.W., E.A. Chávez & K. Withers (eds.). Coral Reefs of the Southern Gulf of Mexico*. Texas A&M University Press, College Station. 194 p.
- Horta-Puga G., J.M. Vargas-Hernández & J.P. Carricart-Ganivet. 2007. Reef Corals. Pp. 95-101. *In: Tunell Jr. J.W., E.A. Chávez & K. Withers (eds.). Coral Reefs of the Southern Gulf of Mexico*. Texas A&M University Press, College Station. 194 p.
- <http://oceancurrents.rsmas.miami.edu/caribbean/mexican.html>
- Humann P. & N. Deloach. 2002a. *Reef Coral Identification. Florida, Caribbean, Bahamas*. Second Edition. New World Publications. Florida, USA. 278 p.

- Humann P. & N. Deloach. 2002b. *Reef Fish Identification. Florida, Caribbean, Bahamas*. Third Edition. New World Publications. Florida, USA. 481 p.
- INE-CONANP. 2000. *Programa de manejo del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos*. Instituto Nacional de Ecología. Comunidad de Puerto Morelos, Quintana Roo, México. 225 p.
- INE-SEDESOL. 1994. *Programa de manejo de la Reserva Especial de la Biosfera Isla Contoy*. México.
- INE-SEMARNAP. 1998a. *Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro*. México. 189 p.
- INE-SEMARNAP. 1998b. *Programa de Manejo Parque Marino Nacional Arrecife de Cozumel, Quintana Roo*. México. 165 p.
- Integrated Taxonomic Information System (ITIS) <http://www.itis.gov>.
- Jongman R.H., C.J.F. ter Braak & O.F.R. van Tongeren. 1995. Data analysis in community and landscape ecology. Pudoc, Wageningen. 299 p.
- Jordán-Dahlgren E. 1978. Estructura y composición de arrecifes coralinos, en la región noroeste de la península de Yucatán, México. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología UNAM*. 1-21.
- Jordán-Dahlgren E. 2002. Gorgonian distribution patterns in coral reef environments of the Gulf of Mexico: evidence of sporadic ecological connectivity? *Coral Reefs* 21:205-215.
- Jordán-Dahlgren E. & R.E. Rodríguez Martínez. 2003. The Atlantic Coral Reefs of Mexico. Pp. 131-158. *In: Latin American Coral Reefs* Cortés J. (ed.) CIMAR. Universidad de Costa Rica.
- Karlson R.H., H.V. Cornell & T.P. Hughes. 2007. Aggregation influences coral species richness at multiple spatial scale. *Ecology*. 88(1):170-177.
- Kaufman L.S. 1983. Effects of Hurricane Allen on reef fish assemblages near Discovery Bay, Jamaica. *Coral Reefs* 2: 43-47
- Kaufman L. & P.J. Rousseeuw. 2005. *Finding groups in data. An introduction to cluster analysis*. Wiley-Interscience. New Jersey. 342 p.
- Koleff P. 2005. Conceptos y medidas de la diversidad beta. Pp. 19-40. *In: Halffter, G., J. Soberón, P. Koleff & A. Melic, (eds.) Sobre diversidad biológica: el significado de*

- las diversidades alfa, beta y gama*. m3m: Monografías Tercer Milenio, Sociedad Entomológica Aragonesa, Zaragoza, España. 242 p.
- Krebs C.J. 1989. *Ecological methodology*. 2nd. Ed. Addison-Welsey Educational Publisher, Menlo Park, Ca. 620 p.
- Lawes M.J. P.E. Mealin & S.E. Piper. 2000. Patch occupancy and potential metapopulation dynamics of three forest mammals in fragmented afro-montane forest in South Africa. *Conservation Biology*. 14:1088-1098.
- Legendre P. & L. Legendre. 1998. *Numerical Ecology*. Elsevier, Amsterdam. 853 p.
- Legendre P., D. Borcard & P.R. Peres-Nieto. 2005. Concepts & Synthesis. Emphasizing new ideas to stimulate research in ecology. *Ecological Monographs*. 75(4):435-450.
- Lugo-Fernández A., K.J.P. Deslarzes J.M. Price, G.S. Boland & M.V. Morin. 2001. Inferring probable dispersal of Flower Garden Banks Coral Larvae (Gul of Mexico) using observed and simulated drifter trajectories. *Continental Shelf Research* 21:47-67.
- Ludwig J.A. & J.F. Reynolds. 1988. *Statistical ecology*. A primer on methods and computing. John Wiley & Sons, New York. 337 p.
- Magurran A. E. 1988. *Measuring Biological Diversity*. Blackwell, Oxford. 179 p.
- Manly B.F.J. 1986. *Multivariate statistical methods. A primer*. Chapman and Hall, London. 159 p.
- Mantel N. 1967. The direction of disease clustering and generalized regression approach. *Cancer Research*. 27: 209-220
- Margalef R. 1974. *Ecología*. Ediciones Omega, S. A., Barcelona. 951 p.
- Mariano A.J., E.H. Ryan, B.D. Perkins & S. Smithers. 1995. The Mariano Global Surface Velocity Analysis 1.0, U.S. Coast Guard Technical Report, CG-D-34-95.
- Marín M., J. Candela, J. Sheinbaum, J. Ochoa, & A. Badan. 2008. On the near surface momentum balance in the Yucatan Channel. *Geofísica Internacional*. 47( 1 ):57-75.
- Menéndez R. & C.D. Thomas. 2000. Metapopulation structure depends on spatial scale in the host-specific moth *Wheeleria spilodactylus* (Lepidoptera: Pterophoridae). *Journal of Animal Ecology*. 69:935-951.

- Monreal-Gómez M.A. & D.A. Salas de León. 1990. Simulación de la circulación de la Bahía de Campeche. Unión Geofísica Mexicana. México, D.F. *Geofísica Internacional*, 29:101-111.
- Monreal-Gómez M.A., D.A. Salas de León, A.R. Padilla-Pilotze & M.A. Alatorre-Mendieta. 1992. Hidrografía y estimación de corrientes de densidad en el sur de la Bahía de Campeche, México. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada B. C. *Ciencias Marinas*, 18:115-133.
- Mueller-Dombois D. & H. Ellemberg. 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. John Wiley & Sons, New York. 547 p.
- Muños-Chaguín R.F. & G. De la Cruz-Agüero. 1993. Corales del arrecife de Akumal, Quintana Roo. Pp. 761-771. *In*: Salazar-Vallejo S.I. & N.E. González (eds.). *Biodiversidad Marina y Costera de México*. CONABIO y CIQRO, México, 865 p.
- National Hurricane Centre. 2008. NHC archive of hurricane seasons. National Weather Center. NOAA. <http://www.nhc.noaa.gov/pastall.shtml>; consultado en febrero de 2008.
- Nenkola J.C. & P.S. White. 1999. The distance decay of similarity in biogeography and ecology. *Journal of Biogeography*. 26: 867-878.
- Nekola J.C. 1999. Paleorefugia and neorefugia: the influence of colonization history on community pattern and process. *Ecology*. 80:2459-2473.
- National Oceanographic and Atmospheric Administration World Ocean Atlas 2005. <http://www.nodc.noaa.gov>; consultada en febrero de 2008.
- Orlóci L. 1978. *Multivariate analysis in vegetation research*. 2nd Ed. Dr. W. Junk B.V. Publishers, The Hague. 451 p.
- Ospina-Guerrero S.P., R.M. Landinez-García, D.J. Rodríguez-Castro, R. Aragon & E. Márquez. 2008. Genetic connectivity of *Stegastes partitus* in the South Caribbean evidenced by microsatellite analysis. *Ciencias Marinas*. 34(2):155-163
- Paris C.B. & R.K. Cowen. 2004. Direct evidence of biophysical retention mechanism for coral reef fish larvae. *Limnology Oceanography*. 49(6):1964-1979.
- Paris C.B., R.K. Cowen, R. Claro & K.C. Lindeman. 2005. Larval transport pathways from Cuban snapper (Lutjanidae) spawning aggregations based on biophysical modeling. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 296:96-103.

- Patiño del Olmo S.A. 2004. *Análisis espacial de corales escleractinios en el gradiente de profundidad de las tres barreras del arrecife Punta Nizuc, Cancún*. Tesis de Maestría en Biología Marina. CINVESTAV-IPN. Unidad Mérida Yucatán, México. 79 p.
- Pérez-España H. 2007. Comunicación personal. Investigador de la Unidad de Investigación de Ecología de Pesquerías. Universidad Veracruzana.
- Pielou E.C. 1984. *The interpretation of ecological data. A primer on classification and ordination*. John Wiley & Sons, New York. 263 p.
- Pope S.E., L. Fahrig & H.G. Merriam. 2000. Landscape complement and metapopulation effects on leopard frog populations. *Ecology*. 81:2498-2508.
- Presley S.J. & M.R. Willig. 2008. Composition and structure of Caribbean bat (Chiroptera) assemblages: effects of inter-island distance, area, elevation and hurricane-induced disturbance. *Global Ecology and Biogeography*. 17: 747-757.
- Rivas-Solis W.R. 1990. *Estructura de la comunidad bentónica de la parte sur del arrecife Alacranes, Yucatán, México*. Tesis de Maestría en Biología marina. CINVESTAV-IPN. Unidad Mérida Yucatán, México. 39 p.
- Roberts C.M. 1997. Connectivity and Management of Caribbean Coral Reefs. *Science*. 278:1454-1457.
- Roger C.S. & J. Miller. 2006. Permanent 'phase shifts' or reversible declines in coral cover? Lack of recovery of two coral reefs in St. John, US Virgin Islands. *Mar.Ecol.Prog.Ser.* 306: 103-114
- Ruiz-Zárata M.A., R.C. Hernández-Landa, C. González-Salas, E. Núñez-Lara & E. Arias-González. 2006. Condition of Coral Reef Ecosystems in central-southern Quintana Roo, Mexico (Part 1: Stony corals and algae). Pp. 318-337. In: J.C. Lang (ed.). *Status of Coral Reefs in the western Atlantic: Results of initial Surveys, Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment (AGRRA) Program*. Atoll Research Bulletin 496 p.
- Saari L., J. Aberg & J.E. Swenson. 1998. Factors influencing the dynamics of occurrence of the hazel grouse in a fine-grained managed landscape. *Conservation Biology*. 12:586-592.

- Salas-Pérez J.J. & A. Granados-Barba. 2008. Oceanographic characterization of the Veracruz reefs system. *Atmósfera* 21(3): 28-301
- Salazar-Vallejo S.I., J.C. Zurita, N.E. González, F. Pérez-Castillo & H.C. Gamboa. 1993. Áreas costeras protegidas de Quintana Roo. Pp 687-708. *In: Salazar-Vallejo S.I. & N.E. González (eds.). Biodiversidad Marina y Costera de México.* CONABIO y CIQRO, México, 865 p.
- Salazar-Vallejo S.I. 2002. Huracanes y biodiversidad costera tropical. *Revista Biología Tropical.* 50( 2 ): 415-428
- Sale P.F. 2004. Connectivity, Recruitment Variation, and the Structure of Reef Fish Communities. *Integr. Comp. Biol.* 44:390-399
- Sheinbaum J., J. Candela, A. Badán, J.L. Ochoa & R. Iglesias. 2001. *Estudio de la Circulación en el Caribe Mexicano.* Protocolo de proyecto de grupo DG/2001-575. 17 p.
- Sokal R.R. & F.J. Rohlf. 1995. *Biometry. The principles and practice of statistics in biological research.* 3<sup>rd</sup> Ed. W.H. Freeman and Co., New York. 887 p.
- StatSoft, Inc. (2001). STATISTICA (data analysis software system), version 6. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).
- Steinitz O., J. Heller, A. Tsoar, D. Rotem & R. Kadmon. 2006. Environment, dispersal and patterns of species similarity. *Journal of Biogeography.* 33:1044-1054.
- Suárez-Morales E. & E. Rivera-Arriaga. 1998. Zooplankton e hidrodinámica en zonas litorales y arrecifales de Quintana Roo. *Hidrobiología.* 8: 19-32.
- Thorrold S.R., G.P. Jones, M.E. Hellberg, R.S. Burton, S.E. Swearer, J.E. Neigel, S.G. Morgan & R.R. Warner. 2002. Quantifying larval retention and connectivity in marine population with artificial and natural markers. *Bulletin of Marine Science.* 70(1):291-308.
- Thorrold S.R. 2006. Ocean ecology; don't fence me in. New research that combines ocean circulation and genetic models to predict population structure of coral will help conservation efforts in tropical reef ecosystems. *Current Biology.* 16(16) 638-640.
- Trejo I. 2005. Análisis de la diversidad de la selva baja caducifolia en México. Pp. 111-122. *In: Halffter G., J. Soberón, P. Koleff & A. Melic (eds.). Sobre Diversidad*

- Biológica: el significado de las Diversidades Alfa, Beta y Gamma*. m3m-Monografías 3er Milenio, vol.4 SEA, CONABIO, Grupo DIVERSITAS & CONACYT, Zaragoza. IV. 242 p.
- Vargas-Hernández J.M., A. Hernández-Gutiérrez & L.F. Carrera-Parra. 1993. Sistema Arrecifal Veracruzano. Pp. 559-575 *In*: Salazar-Vallejo S.I. y N.E. González (eds.). *Biodiversidad Marina y Costera de México*. CONABIO y CIQRO, México. 865 p.
- Veron J.E.N. 2000. *Corals of the World*. Vol. 1-3. Australian Institute of Marine Science 1379 p
- Ward J.H. Jr. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*. 58: 71-104.
- Wildi O. & L. Orłóci. 1996. Numerical exploration of community patterns. 2nd Edition. SPB Academic Publishing, The Hague. 171 p.
- Wilson M.V. & A. Shmida. 1984. Measuring beta diversity with presence-absence data. *Journal of Ecology*. 72:1055-1064.
- Zavala-Hidalgo J. & A. Fernández-Eguiarte. 2004. Propuesta para la regionalización de los mares mexicanos desde el punto de vista de los procesos físicos: el caso del Golfo de México. Pp. 21-32. *In*: Córdova y Vázquez A., F. Rosete-Verges, G. Enríquez-Hernández & B. Fernández de la Torre (compiladores). *Ordenamiento Ecológico Marino. Visión temática de la regionalización*. 226 p.

# **ANEXOS**



Anexo A.1. Lista Taxonómica de especies de hexacorales consideradas en este trabajo, se consultaron las obras de Human & Deloach (2002), Veron (2000) y la base electrónica del Integrated Taxonomic Information System (ITIS).

Phylum Cnidaria

Clase Anthozoa

Orden Scleractinia

Familia Acroporidae

*Acropora cervicornis* (Lamarck, 1816)

*Acropora palmata* (Lamarck, 1816)

*Acropora prolifera* (Lamarck, 1816)

Familia Agariciidae

*Agaricia agaricites* (Linnaeus, 1758)

*Agaricia fragilis* Dana, 1846

*Agaricia humilis* Verrill, 1902

*Agaricia lamarcki* Milne-Edwards and Haime, 1851

*Agaricia tenuifolia* Dana, 1846

*Agaricia undata* (Ellis and Solander, 1786)

*Helioseris cucullata* (Ellis and Solander, 1786)

*Leptoseris cucullata* (Ellis and Solander, 1786)

Familia Astrocoeniidae

*Stephanocoenia intersepta* (Lamarck, 1816)

*Stephanocoenia michelini* Milne-Edwards and Haime, 1848

Familia Caryophylliidae

*Eusmilia fastigiata* (Pallas, 1766)

Familia Faviidae

*Colpophyllia amaranthus* (O. F. Müller, 1775)

*Colpophyllia breviserialis* Milne-Edwards and Haime, 1849

*Colpophyllia natans* (Houttuyn, 1772)

*Diploria clivosa* (Ellis and Solander, 1786)

*Diploria labyrinthiformis* (Linnaeus, 1758)

*Diploria strigosa* (Dana, 1846)

*Favia conferta* Verrill, 1868

*Favia fragum* (Esper, 1795)

*Montastraea annularis* (Ellis and Solander, 1786)

*Montastraea cavernosa* Linnaeus, 1767

*Montastraea faveolata* (Ellis and Solander, 1786)

*Montastraea franksi* (Gregory, 1895)

*Manicina areolata* (Linnaeus, 1758)

*Oxysmilia rotundifolia* (Milne-Edwards and Haime, 1848)

*Solenastrea bournoni* Milne-Edwards and Haime, 1850

*Solenastrea hyades* (Dana, 1846)

Familia Meandrinidae

*Dendrogyra cylindricus* Ehrenberg, 1834

*Dichocoenia stokesi* Milne-Edwards and Haime, 1848

*Meandrina meandrites* (Linnaeus, 1758)

Familia Mussidae

*Isophyllastrea rigida* (Dana, 1846)

*Isophyllia sinuosa* (Ellis and Solander, 1786)

<i>Mussa angulosa</i>	(Pallas, 1766)
<i>Mycetophyllia aliciae</i>	Wells, 1973
<i>Mycetophyllia danaana</i>	Milne-Edwards and Haime, 1849
<i>Mycetophyllia ferox</i>	Wells, 1973
<i>Mycetophyllia lamarckiana</i>	Milne-Edwards and Haime, 1848
<i>Scolymia cubensis</i>	Milne-Edwards and Haime, 1849
<i>Scolymia lacera</i>	(Pallas, 1766)
<i>Scolymia wellsii</i>	Laborel, 1967
Familia Oculinidae	
<i>Oculina diffusa</i>	Lamarck, 1816
<i>Oculina valenciennesi</i>	Milne-Edwards and Haime, 1850
Familia Pocilloporidae	
<i>Madracis decactis</i>	(Lyman, 1859)
<i>Madracis mirabilis</i>	(Lyman, 1859)
<i>Madracis pharensis</i>	(Heller, 1868)
Familia Poritidae	
<i>Porites astreoides</i>	Lamarck, 1816
<i>Porites branneri</i>	Rathbun, 1888
<i>Porites divaricata</i>	Lesueur, 1821
<i>Porites furcata</i>	Lamarck, 1816
<i>Porites porites</i>	(Pallas, 1766)
Familia Siderastreidae	
<i>Siderastrea radians</i>	(Pallas, 1766)
<i>Siderastrea siderea</i>	(Ellis and Solander, 1786)

Anexo A.2. Tabla general de especies de hexacorales por localidad para datos de presencia ausencia.

Especie	Xcalak	Xahuayxol	Chinchorro	Mahahual	Chaguay	EIPlacer	Tampalam	PuntaAllen	PuntaYuyum
<i>Acropora_cervicornis</i>	1	0	1	1	1	0	0	1	0
<i>Acropora_palmata</i>	1	1	1	1	1	0	1	1	1
<i>Acropora_prolifera</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Agaricia_agaricites</i>	1	1	1	1	0	1	1	1	0
<i>Agaricia_fragilis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Agaricia_humilis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Agaricia_lamarcki</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Agaricia_tenuifolia</i>	1	1	1	1	1	1	0	1	1
<i>Agaricia_undata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Colpophyllia_amaranthus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Colpophyllia_breviserialis</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Colpophyllia_natans</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Dendrogyra_cylindrus</i>	0	0	0	1	0	1	1	0	0
<i>Dichocoenia_stokesi</i>	0	0	1	1	1	0	0	0	0
<i>Diploria_clivosa</i>	1	0	1	1	1	0	0	0	0
<i>Diploria_labyrinthiformis</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Diploria_strigosa</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Eusmilia_fastigiata</i>	0	0	1	0	1	1	1	0	0
<i>Favia_conferta</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Favia_fragum</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Helioseris_cucullata</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Isophyllastrea_rigida</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Isophyllia_sinuosa</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Leptoseris_cucullata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Madracis_decactis</i>	1	0	0	1	0	1	1	0	1
<i>Madracis_mirabilis</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Madracis_pharensis</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Manicina_areolata</i>	0	0	1	1	0	0	0	0	0
<i>Meandrina_meandrites</i>	1	1	0	1	1	1	1	1	1
<i>Montastraea_annularis</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Montastraea_cavernosa</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Montastraea_faveolata</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Montastraea_franksi</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Anexo A.2. Tabla general de especies de hexacorales por localidad para datos de presencia ausencia (continuación).

Especie	BocaPaila	Chemuyil	Cozumel	Akumal	PuntaNizuc	Alacranes	CayoArenas	Triangulos	SAV	Tuxpam
<i>Acropora_cervicornis</i>	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
<i>Acropora_palmata</i>	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Acropora_prolifera</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Agaricia_agaricites</i>	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0
<i>Agaricia_fragilis</i>	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1
<i>Agaricia_humilis</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Agaricia_lamarcki</i>	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0
<i>Agaricia_tenuifolia</i>	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
<i>Agaricia_undata</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Colpophyllia_amaranthus</i>	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1
<i>Colpophyllia_breviserialis</i>	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
<i>Colpophyllia_natans</i>	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
<i>Dendrogyra_cylindrus</i>	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
<i>Dichocoenia_stokesi</i>	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0
<i>Diploria_clivosa</i>	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Diploria_labyrinthiformis</i>	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1
<i>Diploria_strigosa</i>	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1
<i>Eusmilia_fastigiata</i>	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
<i>Favia_conferta</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Favia_fragum</i>	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0
<i>Helioseris_cucullata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Isophyllastrea_rigida</i>	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
<i>Isophyllia_sinuosa</i>	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0
<i>Leptoseris_cucullata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Madracis_decactis</i>	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1
<i>Madracis_mirabilis</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
<i>Madracis_pharensis</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Manicina_areolata</i>	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1
<i>Meandrina_meandrites</i>	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1
<i>Montastraea_annularis</i>	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Montastraea_cavernosa</i>	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Montastraea_faveolata</i>	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Montastraea_franksi</i>	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Anexo A.2. Tabla general de especies de hexacorales por localidad para datos de presencia ausencia (continuación).

Especie	Xcalak	Xahuayxol	Chinchorro	Mahahual	Chaguay	EIPlacer	Tampalam	PuntaAllen	PuntaYuyum
<i>Mussa_angulosa</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Mycetophyllia_aliciae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Mycetophyllia_danaana</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Mycetophyllia_ferox</i>	0	0	0	1	0	1	1	0	0
<i>Mycetophyllia_lamarckiana</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Oculina_diffusa</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Oculina_valenciennesi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Oxysmilia_rotundifolia</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Porites_astreoides</i>	1	1	1	1	0	1	1	1	1
<i>Porites_branneri</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Porites_divaricata</i>	0	0	1	1	1	0	0	0	0
<i>Porites_furcata</i>	1	0	1	1	0	1	0	1	1
<i>Porites_porites</i>	1	1	1	1	1	1	0	1	1
<i>Scolymia_cubensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Scolymia_lacera</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Scolymia_wellsi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Siderastrea_radians</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Siderastrea_siderea</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Solenastrea_bournoni</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Solenastrea_hyades</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Stephanocoenia_intersepta</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Stephanocoenia_michelini</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Anexo A.2. Tabla general de especies de hexacorales por localidad para datos de presencia ausencia (continuación).

Especie	BocaPaila	Chemuyil	Cozumel	Akumal	PuntaNizuc	Alacranes	CayoArenas	Triangulos	SAV	Tuxpam
<i>Mussa_angulosa</i>	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1
<i>Mycetophyllia_aliciae</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Mycetophyllia_danaana</i>	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0
<i>Mycetophyllia_ferox</i>	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
<i>Mycetophyllia_lamarckiana</i>	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1
<i>Oculina_diffusa</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Oculina_valenciennesi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Oxysmilia_rotundifolia</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Porites_astreoides</i>	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
<i>Porites_branneri</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
<i>Porites_divaricata</i>	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Porites_furcata</i>	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Porites_porites</i>	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Scolymia_cubensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Scolymia_lacera</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Scolymia_wellsi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Siderastrea_radians</i>	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1
<i>Siderastrea_siderea</i>	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1
<i>Solenastrea_bournoni</i>	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0
<i>Solenastrea_hyades</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Stephanocoenia_intersepta</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Stephanocoenia_michelini</i>	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0

Anexo A.3. Tabla general de especies de hexacorales por localidad, datos estandarizados, convertidos a abundancias relativas y multiplicadas por 100 mil.

Especie	Xcalak	Xahuayxol	Chinchorro	Mahahual	Chaguay	ElPlacer	Tampalam	PuntaAllen	PuntaYuyum
<i>Montastraea annularis</i>	38392.86	22772.28	7322.24	32166.86	24250.00	4166.67	10027.10	18229.17	8959.54
<i>Diploria strigosa</i>	7142.86	14191.42	18342.81	7115.05	1250.00	14583.33	14634.15	5208.33	9537.57
<i>Montastraea cavernosa</i>	6026.79	1650.17	3291.17	4073.76	10875.00	14583.33	18428.18	5208.33	26589.60
<i>Montastraea faveolata</i>	10714.29	18151.82	1688.01	4798.96	6000.00	4166.67	6504.07	24739.58	17919.08
<i>Colpophyllia natans</i>	4687.50	3300.33	671.85	2318.00	4875.00	7986.11	3252.03	2343.75	2890.17
<i>Montastraea franksi</i>	3794.64	6270.63	1862.63	2204.93	8500.00	7291.67	5420.05	9375.00	1445.09
<i>Diploria labyrinthiformis</i>	2455.36	1650.17	3403.54	2573.86	2375.00	7986.11	2710.03	5208.33	3757.23
<i>Diploria clivosa</i>	446.43		3148.74	407.15	375.00				
<i>Colpophyllia breviserialis</i>				641.03					
<i>Colpophyllia amaranthus</i>									
<i>Manicina areolata</i>			63.13						
<i>Mycetophyllia lamarckiana</i>				226.51					
<i>Mycetophyllia ferox</i>						694.44	1355.01		
<i>Mycetophyllia aliciae</i>									
<i>Mycetophyllia daniana</i>				64.10					
<i>Isophyllia sinuosa</i>				402.07					
<i>Mussa angulosa</i>				22.98					
<i>Isophyllastrea rigida</i>				64.10					
<i>Scolymia lacera</i>				1.23					
<i>Agaricia agaricites</i>	2008.93	2310.23	10226.65	10232.62		7291.67	7859.08	1822.92	
<i>Agaricia tenuifolia</i>	5580.36	660.07	1105.94	6105.46	7250.00	1736.11		3645.83	6069.36
<i>Agaricia fragilis</i>									
<i>Agaricia lamarcki</i>									

Anexo A.3. Tabla general de especies de hexacorales por localidad, datos estandarizados, convertidos a abundancias relativas y multiplicadas por 100 mil (continuación).

Especie	Xcalak	Xahuayxol	Chinchorro	Mahahual	Chaguay	EIPlacer	Tampalam	PuntaAllen	PuntaYuyum
<i>Agaricia humilis</i>									
<i>Helioseris cucullata</i>				389.25					
<i>Agaricia undata</i>									
<i>Porites astreoides</i>	4910.71	9570.96	10625.13	6373.90		2430.56	11924.12	4687.50	7514.45
<i>Porites porites</i>	2901.79	1650.17	2658.72	2957.59	4000.00	2430.56		520.83	867.05
<i>Porites furcata</i>	223.21		1957.07	713.36		694.44		520.83	867.05
<i>Porites divaricata</i>			174.62	897.44	1250.00				
<i>Porites branneri</i>									
<i>Acropora palmata</i>	4687.50	660.07	19191.59	3777.27	22625.00		1897.02	6510.42	2312.14
<i>Acropora cervicornis</i>	223.21		931.32	331.69	1625.00			1302.08	
<i>Acropora prolifera</i>				13.72					
<i>Meandrina meandrites</i>	223.21	660.07		252.82	750.00	9027.78	6504.07	520.83	2890.17
<i>Dichocoenia stokesi</i>			1964.02	678.60	375.00				
<i>Dendrogyra cylindricus</i>				2865.38		694.44	542.01		
<i>Madracis decactis</i>	223.21			640.59		694.44	542.01		1445.09
<i>Madracis pharensis</i>							542.01		867.05
<i>Madracis mirabilis</i>				64.10					
<i>Siderastrea siderea</i>	5357.14	16501.65	4931.44	3345.31	3250.00	12847.22	7317.07	10156.25	6069.36
<i>Siderastrea radians</i>				2375.26					
<i>Solenastrea bourmoni</i>				641.03					
<i>Eusmilia fastigiata</i>			6439.39	192.31	375.00	694.44	542.01		
<i>Favia fragum</i>				64.10					
<i>Stephanocoenia michelini</i>									
<i>Stephanocoenia intersepta</i>				1.59					
<i>Oculina diffusa</i>				6.03					

Anexo A.3. Tabla general de especies de hexacorales por localidad, datos estandarizados, convertidos a abundancias relativas y multiplicadas por 100 mil (continuación).

Especie	BocaPaila	Chemuyil	Cozumel	Akumal	PuntaNizuc	CayoArenas	Triangulos	SAV
<i>Montastraea annularis</i>	4884.32	25057.47	14148.22	31959.90	15880.10	26422.76	6966.09	13668.97
<i>Diploria strigosa</i>	10539.85	2758.62	2309.91	3305.06	3443.88	59178.43		2105.98
<i>Montastraea cavernosa</i>	20822.62	1149.43	9528.39	1795.84	2359.69	492.08	1008.25	31337.37
<i>Montastraea faveolata</i>	28534.70			11436.67				2072.01
<i>Colpophyllia natans</i>	11311.05		2887.39	1606.81	1084.18			24104.76
<i>Montastraea franksi</i>	1028.28			2079.40				730.30
<i>Diploria labyrinthiformis</i>	4884.32			2715.09	1211.73	85.58		
<i>Diploria clivosa</i>		459.77	1154.96	631.51	318.88	6803.59	3299.73	152.85
<i>Colpophyllia breviserialis</i>			1828.68	294.99				
<i>Colpophyllia amaranthus</i>						385.11	458.30	
<i>Manicina areolata</i>			96.25		191.33			
<i>Mycetophyllia lamarckiana</i>		1149.43	866.22		446.43	85.58	1191.57	146.58
<i>Mycetophyllia ferox</i>			577.48	1179.94	255.10			
<i>Mycetophyllia aliciae</i>		229.89	1347.45					
<i>Mycetophyllia daniana</i>		459.77	962.46		63.78			
<i>Isophyllia sinuosa</i>					127.55			
<i>Mussa angulosa</i>			288.74					
<i>Isophyllastrea rigida</i>					127.55			
<i>Scolymia lacera</i>								
<i>Agaricia agaricites</i>	6683.80	10114.94	18046.20	12411.13	14668.37	235.34		50.95
<i>Agaricia tenuifolia</i>		3448.28	7795.96	5089.47	5038.27			
<i>Agaricia fragilis</i>		919.54	3128.01	442.48			9990.83	
<i>Agaricia lamarcki</i>		1379.31	5101.06	1327.43				866.17

Anexo A.3. Tabla general de especies de hexacorales por localidad, datos estandarizados, convertidos a abundancias relativas y multiplicadas por 100 mil (continuación).

Especie	BocaPaila	Chemuyil	Cozumel	Akumal	PuntaNizuc	CayoArenas	Triangulos	SAV
<i>Agaricia humilis</i>					2104.59			
<i>Helioseris cucullata</i>								
<i>Agaricia undata</i>			96.25					
<i>Porites astreoides</i>	1799.49	1839.08	962.46	3565.75	17155.61	1497.65		1170.04
<i>Porites porites</i>		1839.08	1588.07	2272.61	10076.53	278.13	23648.03	
<i>Porites furcata</i>	2827.76	689.66	481.23	294.99				
<i>Porites divaricata</i>		919.54	192.49	442.48				
<i>Porites branneri</i>					382.65			
<i>Acropora palmata</i>		229.89	288.74	7622.78	11096.94	1198.12	38221.81	1013.51
<i>Acropora cervicornis</i>	2827.76	40919.54	288.74	2378.56	701.53		1924.84	2388.43
<i>Acropora prolifera</i>								
<i>Meandrina meandrites</i>		229.89	818.09	189.04	446.43			
<i>Dichocoenia stokesi</i>			2021.17	737.46	127.55		13290.56	
<i>Dendrogyra cylindricus</i>		689.66						
<i>Madracis decactis</i>			673.72					622.12
<i>Madracis pharensis</i>	1028.28							
<i>Madracis mirabilis</i>		1839.08						
<i>Siderastrea siderea</i>	2827.76	1149.43	6400.38	3388.15	10969.39			12366.27
<i>Siderastrea radians</i>			6015.40	1652.53	127.55	3337.61		3057.07
<i>Solenastrea bournoni</i>		2528.74	5197.31	442.48				
<i>Eusmilia fastigiata</i>			2983.64					
<i>Favia fragum</i>			192.49		829.08			
<i>Stephanocoenia michelini</i>			1732.44	737.46	765.31			3362.77
<i>Stephanocoenia intersepta</i>								563.06
<i>Oculina diffusa</i>								220.79

Anexo A.4. Lista Taxonómica de especies de peces consideradas en este trabajo, se consultó la parte correspondiente de la base de datos electrónica FISHBASE (Froese & Pauly, 2008) basada en el trabajo de Eschmeyer (1998).

Phylum Chordata		
Subphylum Vertebrata		
Superclase Gnathostomata		
Clase Actinopterygii		
Orden Anguilliformes		
Familia Congridae	<i>Heteroconger longissimus</i>	Günther, 1870
Familia Muraenidae	<i>Gymnothorax funebris</i>	Ranzani, 1839
	<i>Gymnothorax miliaris</i>	(Kaup, 1856)
	<i>Gymnothorax moringa</i>	(Cuvier, 1829)
Orden Atheriniformes		
Familia Atherinopsidae	<i>Membras martinica</i>	(Valenciennes, 1835)
Orden Aulopiformes		
Familia Synodontidae	<i>Synodus intermedius</i>	(Spix & Agassiz, 1829)
Orden Beloniformes		
Familia Belonidae	<i>Strongylura notata notata</i>	(Poey, 1860)
Orden Beryciformes		
Familia Holocentridae	<i>Holocentrus adscensionis</i>	(Osbeck, 1765)
	<i>Holocentrus rufus</i>	(Walbaum, 1792)
	<i>Myripristis jacobus</i>	Cuvier, 1829
	<i>Neoniphon marianus</i>	(Cuvier, 1829)
	<i>Sargocentron vexillarium</i>	(Poey, 1860)
Orden Elopiformes		
Familia Megalopidae	<i>Megalops atlanticus</i>	Valenciennes, 1847
Orden Perciformes		
Familia Acanthuridae	<i>Acanthurus bahianus</i>	Castelnau, 1855
	<i>Acanthurus chirurgus</i>	(Bloch, 1787)
	<i>Acanthurus coeruleus</i>	Bloch & Schneider, 1801
Familia Apogonidae	<i>Apogon maculatus</i>	(Poey, 1860)
Familia Blenniidae	<i>Ophioblennius atlanticus</i>	(Valenciennes, 1836)
	<i>Parablennius marmoreus</i>	(Poey, 1876)
	<i>Scartella cristata</i>	(Linnaeus, 1758)

Familia Carangidae	
<i>Carangoides bartholomaei</i>	(Cuvier, 1833)
<i>Carangoides ruber</i>	(Bloch, 1793)
<i>Caranx crysos</i>	(Mitchill, 1815)
<i>Caranx hippos</i>	(Linnaeus, 1766)
<i>Caranx latus</i>	Agassiz, 1831
<i>Caranx lugubris</i>	Poey, 1860
<i>Elagatis bipinnulata</i>	(Quoy & Gaimard, 1825)
<i>Seriola rivoliana</i>	Valenciennes, 1833
<i>Trachinotus goodei</i>	Jordan & Evermann, 1896
Familia Chaetodontidae	
<i>Chaetodon capistratus</i>	Linnaeus, 1758
<i>Chaetodon ocellatus</i>	Bloch, 1787
<i>Chaetodon sedentarius</i>	Poey, 1860
<i>Chaetodon striatus</i>	Linnaeus, 1758
<i>Prognathodes aculeatus</i>	(Poey, 1860)
Familia Ephippidae	
<i>Chaetodipterus faber</i>	(Broussonet, 1782)
Familia Gerreidae	
<i>Eucinostomus gula</i>	(Quoy & Gaimard, 1824)
<i>Gerres cinereus</i>	(Walbaum, 1792)
Familia Gobiidae	
<i>Coryphopterus glaucofraenum</i>	Gill, 1863
<i>Coryphopterus personatus</i>	(Jordan & Thompson, 1905)
<i>Elacatinus jarocho</i>	Taylor & Akins, 2007
<i>Gobiosoma oceanops</i>	Jordan, 1904
Familia Grammatidae	
<i>Gramma loreto</i>	Poey, 1868
<i>Gramma melacara</i>	Böhlke & Randall, 1963
Familia Haemulidae	
<i>Anisotremus surinamensis</i>	(Bloch, 1791)
<i>Anisotremus virginicus</i>	(Linnaeus, 1758)
<i>Haemulon album</i>	Cuvier, 1830
<i>Haemulon aurolineatum</i>	Cuvier, 1830
<i>Haemulon bonariense</i>	Cuvier, 1830
<i>Haemulon boschmae</i>	(Metzelaar, 1919)
<i>Haemulon carbonarium</i>	Poey, 1860
<i>Haemulon chrysargyreum</i>	Günther, 1859
<i>Haemulon flavolineatum</i>	(Desmarest, 1823)
<i>Haemulon macrostomum</i>	Günther, 1859
<i>Haemulon melanurum</i>	(Linnaeus, 1758)
<i>Haemulon parra</i>	(Desmarest, 1823)
<i>Haemulon plumierii</i>	(Lacepède, 1801)
<i>Haemulon sciurus</i>	(Shaw, 1803)
Familia Inermiidae	
<i>Inermia vittata</i>	Poey, 1860

Familia Kyphosidae	
<i>Kyphosus incisor</i>	(Cuvier, 1831)
<i>Kyphosus sectator</i>	(Linnaeus, 1758)
Familia Labridae	
<i>Bodianus pulchellus</i>	(Poey, 1860)
<i>Bodianus rufus</i>	(Linnaeus, 1758)
<i>Clepticus parrae</i>	(Bloch & Schneider, 1801)
<i>Halichoeres bathyphilus</i>	(Beebe & Tee-Van, 1932)
<i>Halichoeres bivittatus</i>	(Bloch, 1791)
<i>Halichoeres cyanocephalus</i>	(Bloch, 1791)
<i>Halichoeres garnoti</i>	(Valenciennes, 1839)
<i>Halichoeres maculipinna</i>	(Müller & Troschel, 1848)
<i>Halichoeres pictus</i>	(Poey, 1860)
<i>Halichoeres poeyi</i>	(Steindachner, 1867)
<i>Halichoeres radiatus</i>	(Linnaeus, 1758)
<i>Lachnolaimus maximus</i>	(Walbaum, 1792)
<i>Thalassoma bifasciatum</i>	(Bloch, 1791)
Familia Labrisomidae	
<i>Labrisomus guppyi</i>	(Norman, 1922)
<i>Labrisomus nuchipinnis</i>	(Quoy & Gaimard, 1824)
<i>Malacoctenus triangulatus</i>	Springer, 1959
Familia Lutjanidae	
<i>Lutjanus analis</i>	(Cuvier, 1828)
<i>Lutjanus apodus</i>	(Walbaum, 1792)
<i>Lutjanus buccanella</i>	(Cuvier, 1828)
<i>Lutjanus griseus</i>	(Linnaeus, 1758)
<i>Lutjanus jocu</i>	(Bloch & Schneider, 1801)
<i>Lutjanus mahogoni</i>	(Cuvier, 1828)
<i>Lutjanus synagris</i>	(Linnaeus, 1758)
<i>Ocyurus chrysurus</i>	(Bloch, 1791)
Familia Malacanthidae	
<i>Malacanthus plumieri</i>	(Bloch, 1786)
Familia Mullidae	
<i>Mulloidichthys martinicus</i>	(Cuvier, 1829)
<i>Pseudupeneus maculatus</i>	(Bloch, 1793)
Familia Pempheridae	
<i>Pempheris schomburgkii</i>	Müller & Troschel, 1848
Familia Pomacanthidae	
<i>Holacanthus bermudensis</i>	Goode, 1876
<i>Holacanthus ciliaris</i>	(Linnaeus, 1758)
<i>Holacanthus tricolor</i>	(Bloch, 1795)
<i>Pomacanthus arcuatus</i>	(Linnaeus, 1758)
<i>Pomacanthus paru</i>	(Bloch, 1787)
Familia Pomacentridae	
<i>Abudefduf saxatilis</i>	(Linnaeus, 1758)
<i>Abudefduf taurus</i>	(Müller & Troschel, 1848)
<i>Chromis cyanea</i>	(Poey, 1860)
<i>Chromis insolata</i>	(Cuvier, 1830)

<i>Chromis multilineata</i>	(Guichenot, 1853)
<i>Chromis scotti</i>	Emery, 1968
<i>Microspathodon chrysurus</i>	(Cuvier, 1830)
<i>Stegastes adustus</i>	(Troschel, 1865)
<i>Stegastes diencaeus</i>	(Jordan & Rutter, 1897)
<i>Stegastes fuscus</i>	(Cuvier, 1830)
<i>Stegastes leucostictus</i>	(Müller & Troschel, 1848)
<i>Stegastes partitus</i>	(Poey, 1868)
<i>Stegastes planifrons</i>	(Cuvier, 1830)
<i>Stegastes variabilis</i>	(Castelnau, 1855)
Familia Priacanthidae	
<i>Heteropriacanthus cruentatus</i>	(Lacepède, 1801)
<i>Priacanthus arenatus</i>	Cuvier, 1829
Familia Ptereleotridae	
<i>Ptereleotris calliura</i>	(Jordan & Gilbert, 1882)
Familia Scaridae	
<i>Cryptotomus roseus</i>	Cope, 1871
<i>Scarus coelestinus</i>	Valenciennes, 1840
<i>Scarus coeruleus</i>	(Edwards, 1771)
<i>Scarus guacamaia</i>	Cuvier, 1829
<i>Scarus iseri</i>	(Bloch, 1789)
<i>Scarus taeniopterus</i>	Desmarest, 1831
<i>Scarus vetula</i>	Bloch & Schneider, 1801
<i>Sparisoma aurofrenatum</i>	(Valenciennes, 1840)
<i>Sparisoma chrysopteron</i>	(Bloch & Schneider, 1801)
<i>Sparisoma cretense</i>	(Linnaeus, 1758)
<i>Sparisoma radians</i>	(Valenciennes, 1840)
<i>Sparisoma rubripinne</i>	(Valenciennes, 1840)
<i>Sparisoma viride</i>	(Bonnaterre, 1788)
Familia Sciaenidae	
<i>Equetus lanceolatus</i>	(Linnaeus, 1758)
<i>Equetus punctatus</i>	(Bloch & Schneider, 1801)
<i>Odontoscion dentex</i>	(Cuvier, 1830)
<i>Pareques acuminatus</i>	(Bloch & Schneider, 1801)
Familia Scombridae	
<i>Scomberomorus regalis</i>	(Bloch, 1793)
Familia Serranidae	
<i>Cephalopholis cruentata</i>	(Lacepède, 1802)
<i>Cephalopholis fulva</i>	(Linnaeus, 1758)
<i>Epinephelus adscensionis</i>	(Osbeck, 1765)
<i>Epinephelus guttatus</i>	(Linnaeus, 1758)
<i>Epinephelus striatus</i>	(Bloch, 1792)
<i>Hypoplectrus aberrans</i>	Poey, 1868
<i>Hypoplectrus chlorurus</i>	(Cuvier, 1828)
<i>Hypoplectrus guttavarius</i>	(Poey, 1852)
<i>Hypoplectrus indigo</i>	(Poey, 1851)
<i>Hypoplectrus nigricans</i>	(Poey, 1852)
<i>Hypoplectrus puella</i>	(Cuvier, 1828)
<i>Hypoplectrus unicolor</i>	(Walbaum, 1792)
<i>Mycteroperca bonaci</i>	(Poey, 1860)

<i>Mycteroperca interstitialis</i>	(Poey, 1860)
<i>Mycteroperca phenax</i>	Jordan & Swain, 1884
<i>Mycteroperca tigris</i>	(Valenciennes, 1833)
<i>Mycteroperca venenosa</i>	(Linnaeus, 1758)
<i>Paranthias furcifer</i>	(Valenciennes, 1828)
<i>Serranus subligarius</i>	(Cope, 1870)
<i>Serranus tigrinus</i>	(Bloch, 1790)
<i>Serranus tortugarum</i>	Longley, 1935
Familia Sparidae	
<i>Archosargus probatocephalus</i>	(Walbaum, 1792)
<i>Calamus calamus</i>	(Valenciennes, 1830)
<i>Calamus penna</i>	(Valenciennes, 1830)
<i>Calamus pennatula</i>	Guichenot, 1868
<i>Diplodus argenteus argenteus</i>	(Valenciennes, 1830)
Familia Sphyraenidae	
<i>Sphyraena barracuda</i>	(Edwards, 1771)
<i>Sphyraena guachancho</i>	Cuvier, 1829
Orden Pleuronectiformes	
Familia Bothidae	
<i>Bothus lunatus</i>	(Linnaeus, 1758)
Orden Scorpaeniformes	
Familia Scorpaenidae	
<i>Scorpaena plumieri</i>	Bloch, 1789
Orden Syngnathiformes	
Familia Aulostomidae	
<i>Aulostomus maculatus</i>	Valenciennes, 1841
Orden Tetraodontiformes	
Familia Balistidae	
<i>Balistes capriscus</i>	Gmelin, 1789
<i>Balistes vetula</i>	Linnaeus, 1758
<i>Canthidermis sufflamen</i>	(Mitchill, 1815)
<i>Melichthys niger</i>	(Bloch, 1786)
<i>Xanthichthys ringens</i>	(Linnaeus, 1758)
Familia Diodontidae	
<i>Diodon holocanthus</i>	Linnaeus, 1758
<i>Diodon hystrix</i>	Linnaeus, 1758
Familia Monacanthidae	
<i>Aluterus scriptus</i>	(Osbeck, 1765)
<i>Cantherhines macrocerus</i>	(Hollard, 1853)
<i>Cantherhines pullus</i>	(Ranzani, 1842)
Familia Ostraciidae	
<i>Acanthostracion polygonius</i>	Poey, 1876
<i>Acanthostracion quadricornis</i>	(Linnaeus, 1758)
<i>Lactophrys bicaudalis</i>	(Linnaeus, 1758)
<i>Lactophrys trigonus</i>	(Linnaeus, 1758)
<i>Lactophrys triqueter</i>	(Linnaeus, 1758)

Familia Tetraodontidae	
<i>Canthigaster rostrata</i>	(Bloch, 1786)
<i>Sphoeroides spengleri</i>	(Bloch, 1785)
Clase Elasmobranchii	
Orden Orectolobiformes	
Familia Ginglymostomatidae	
<i>Ginglymostoma cirratum</i>	(Bonnaterre, 1788)
Orden Rajiformes	
Familia Dasyatidae	
<i>Dasyatis americana</i>	Hildebrand & Schroeder, 1928
Familia Myliobatidae	
<i>Aetobatus narinari</i>	(Euphrasen, 1790)
Familia Urolophidae	
<i>Urobatis jamaicensis</i>	(Cuvier, 1816)

Anexo A.5. Tabla general de especies de peces por localidad para datos de presencia/ausencia.

Especie	Chinchorro	Mahahual	Punta Allen	Tulum	Cozumel	Pto.Morelos	Pta.Caracol	Pta.Tanchacto	Pta. Nizuc
<i>Thalassoma bifasciatum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Acanthurus bahianus</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Bodianus rufus</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Haemulon flavolineatum</i>	1	1	0	1	1	1	1	1	1
<i>Sparisoma viride</i>	1	1	0	1	1	1	0	1	1
<i>Acanthurus coeruleus</i>	1	1	0	1	1	1	1	1	1
<i>Haemulon sciurus</i>	1	1	0	1	1	1	1	1	1
<i>Microspathodon chrysurus</i>	1	1	0	1	1	1	1	1	1
<i>Sparisoma rubripinne</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Stegastes planifrons</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	0
<i>Anisotremus virginicus</i>	0	1	0	1	1	1	1	1	1
<i>Canthigaster rostrata</i>	1	1	1	1	1	1	1	0	0
<i>Caranx ruber</i>	1	1	0	1	1	1	0	1	1
<i>Chaetodon ocellatus</i>	1	1	1	1	1	1	1	0	1
<i>Halichoeres garnoti</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	0
<i>Halichoeres radiatus</i>	1	1	0	0	1	1	1	1	0
<i>Mulloidichthys martinicus</i>	1	1	1	0	1	1	1	0	1
<i>Ocyurus chrysurus</i>	1	1	0	1	1	1	1	0	0
<i>Pomacanthus paru</i>	1	1	0	1	1	1	1	0	0
<i>Sparisoma chrysopterum</i>	0	1	0	1	0	1	0	1	0
<i>Halichoeres bivittatus</i>	1	1	0	1	0	1	0	0	1
<i>Holacanthus ciliaris</i>	1	1	0	0	1	1	1	1	0
<i>Holocentrus rufus</i>	1	1	1	1	1	1	1	0	0
<i>Lutjanus griseus</i>	1	1	0	0	1	1	0	1	0
<i>Pomacanthus arcuatus</i>	1	1	1	1	1	1	1	0	0
<i>Scarus vetula</i>	1	1	1	1	0	1	0	0	0
<i>Stegastes partitus</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Acanthurus chirurgus</i>	1	1	0	1	0	1	0	0	1
<i>Chromis cyanea</i>	1	1	1	0	1	1	1	1	0
<i>Chromis multilineata</i>	1	0	1	1	1	1	1	0	0

Anexo A.5. Tabla general de especies de peces por localidad para datos de presencia/ausencia (continuación).

Especie	Chinchorro	Mahahual	Punta Allen	Tulum	Cozumel	Pto.Morelos	Pta.Caracol	Pta.Tanchacto	Pta. Nizuc
<i>Epinephelus_guttatus</i>	1	1	0	1	1	1	1	1	1
<i>Haemulon_plumierii</i>	1	1	0	1	1	1	1	1	0
<i>Holacanthus_tricolor</i>	1	1	0	1	1	1	1	1	0
<i>Scarus_teniopterus</i>	1	1	0	0	1	1	0	0	1
<i>Sphyraena_barracuda</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Aulostomus_malacantus</i>	1	1	0	1	1	1	1	0	0
<i>Balistes_vetula</i>	1	1	0	1	0	1	1	1	0
<i>Kyphosus_sectator</i>	1	0	0	1	1	1	0	0	0
<i>Lactophrys_triqueter</i>	1	0	0	1	1	1	0	0	1
<i>Lutjanus_apodus</i>	1	1	0	0	1	1	0	0	0
<i>Pseudopeneus_maculatus</i>	1	1	0	1	1	1	1	1	1
<i>Scarus_iseri</i>	1	0	0	0	1	1	0	0	0
<i>Serranus_tigrinus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Stegastes_diencaeus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cephalopholis_cruentata</i>	1	1	1	1	0	1	1	0	0
<i>Epinephelus_striatus</i>	1	1	0	0	1	1	1	0	0
<i>Gramma_loreto</i>	1	1	0	1	1	1	0	0	0
<i>Lutjanus_mahogoni</i>	1	1	0	1	1	1	0	0	1
<i>Mycteroperca_bonaci</i>	1	0	0	0	1	1	1	1	0
<i>Ophioblennius_atlanticus</i>	1	0	0	1	0	1	0	0	0
<i>Stegastes_variabilis</i>	1	1	1	1	1	1	0	1	1
<i>Aluterus_scriptus</i>	1	0	0	0	1	1	0	1	0
<i>Cephalopholis_fulva</i>	1	1	0	1	1	1	0	1	0
<i>Chaetodon_stniatus</i>	1	1	1	1	1	1	1	0	0
<i>Haemulon_macrostomum</i>	0	1	0	1	1	1	0	0	0
<i>Lachnolaimus_maximus</i>	1	0	0	1	1	1	1	0	0
<i>Scarus_coeruleus</i>	1	1	0	0	1	1	0	0	0
<i>Scarus_guacamaia</i>	1	1	0	0	1	1	0	0	0
<i>Sparisoma_aurofrenatum</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Canthidermis_sufflamen</i>	1	1	0	1	1	1	0	0	0

Anexo A.5. Tabla general de especies de peces por localidad para datos de presencia/ausencia (continuación).

Especie	Chinchorro	Mahahual	Punta Allen	Tulum	Cozumel	Pto.Morelos	Pta.Caracol	Pta.Tanchacto	Pta. Nizuc
<i>Clepticus_parrae</i>	1	1	0	0	0	1	0	0	0
<i>Epinephelus_adscensionis</i>	1	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Gerres_cinereus</i>	1	0	0	0	1	1	0	0	1
<i>Haemulon_aurolineatum</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Haemulon_carbonarium</i>	1	1	0	0	1	1	0	0	0
<i>Haemulon_chrysargyreum</i>	1	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Halichoeres_maculipinna</i>	1	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Inermia_vittata</i>	0	1	0	1	0	1	0	0	0
<i>Malacanthus_plumieri</i>	1	0	0	0	0	1	1	1	0
<i>Mycteroperca_tigris</i>	1	0	1	0	1	0	0	0	0
<i>Scarus_coelestinus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Abudefduf_saxatilis</i>	1	1	0	1	1	1	1	1	1
<i>Chromis_insolata</i>	1	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Haemulon_album</i>	1	0	0	0	1	1	0	1	0
<i>Holocentrus_adscensionis</i>	0	1	0	1	0	0	0	0	0
<i>Hypoplectrus_puella</i>	1	0	1	1	0	0	0	0	0
<i>Hypoplectrus_unicolor</i>	1	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Lutjanus_analis</i>	0	1	0	0	0	1	0	0	0
<i>Melichthys_niger</i>	1	1	0	0	1	1	0	0	0
<i>Caranx_latus</i>	1	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Chaetodon_sedentarius</i>	1	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Diodon_hystrix</i>	1	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Gymnothorax_moringa</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pempheris_schomburgkii</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Stegastes_leucostictus</i>	1	1	0	1	1	1	0	0	1
<i>Xanthichthys_ringens</i>	0	0	0	0	1	1	0	0	0
<i>Acanthostracion_poligonius</i>	1	0	0	0	1	1	1	0	0
<i>Cantherhines_pullus</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Caranx_hippos</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gymnothorax_funebris</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Anexo A.5. Tabla general de especies de peces por localidad para datos de presencia/ausencia (continuación).

Especie	Chinchorro	Mahahual	Punta Allen	Tulum	Cozumel	Pto.Morelos	Pta.Caracol	Pta.Tanchacto	Pta. Nizuc
<i>Heteropriacanthus_cruentatus</i>	1	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Holacanthus_bermudensis</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Lutjanus_jocu</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Myripristis_jacobus</i>	1	1	0	1	0	0	0	0	0
<i>Pareques_acuminatus</i>	0	0	0	1	1	1	0	0	0
<i>Cantherhines_macrocerus</i>	0	0	0	0	1	1	0	0	0
<i>Caranx_crysos</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Chaetodon_aculeatus</i>	1	1	0	1	0	0	0	1	0
<i>Dasyatis_americana</i>	1	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Diodon_holocanthus</i>	1	0	0	0	0	1	1	0	0
<i>Equetus_lanceolatus</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gymnothorax_miliaris</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Haemulon_melanurum</i>	1	0	0	0	1	0	0	1	0
<i>Hypoplectrus_nigricans</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Kyphosus_incisor</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Lactophrys_bicaudalis</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Neoniphon_marianus</i>	1	1	0	1	0	0	0	0	0
<i>Scartella_cristata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Scorpaena_plumieri</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Aetobatus_narinari</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Apogon_maculatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Aulostomus_maculatus</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Balistes_capriscus</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Carangoides_bartholomaei</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Chaetodon_capistratus</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Equetus_punctatus</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ginglymostoma_cirratum</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gymnothorax_vicinus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Halichoeres_pictus</i>	0	0	0	0	1	1	0	0	1
<i>Halichoeres_poeyi</i>	0	1	0	0	1	0	0	0	0
<i>Hypoplectrus_guttavarius</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0

Anexo A.5. Tabla general de especies de peces por localidad para datos de presencia/ausencia (continuación).

Especie	Chinchorro	Mahahual	Punta Allen	Tulum	Cozumel	Pto.Morelos	Pta.Caracol	Pta.Tanchacto	Pta. Nizuc
<i>Labrisomus_nuchipinnis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Lactophrys_trigonus</i>	0	0	0	0	1	0	1	0	1
<i>Megalops_atlanticus</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Mycteroperca_venenosa</i>	1	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Odontoscion_dentex</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sargocentron_vexillarium</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Serranus_tortugarum</i>	1	1	0	0	1	1	1	0	0
<i>Sparisoma_radians</i>	1	0	1	1	1	1	1	1	1
<i>Sphoeroides_spengleri</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Stegastes_adustus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Strongylura_notata</i>	0	1	1	0	0	1	1	1	0
<i>Tylosurus_crocodilus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Aluterus_schoepfi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Bathygobius_soporator</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Bodianus_pulchellus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Caranx_lugubris</i>	1	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Chaetodon_striatus</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Chromis_scotti</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Enchelycore_nigricans</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Haemulon_bonariense</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Haemulon_parra</i>	1	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Hypoplectrus_indigo</i>	1	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Labrisomus_guppyi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Lutjanus_synagris</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Malacoctenus_triangulatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Mycteroperca_interstitialis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ogilbia_cayorum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Priacanthus_arenatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rachycentron_canadum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rypticus_saponaceus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Seriola_dumerili</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Anexo A.5. Tabla general de especies de peces por localidad para datos de presencia/ausencia (continuación).

Especie	Chinchorro	Mahahual	Punta Allen	Tulum	Cozumel	Pto.Morelos	Pta.Caracol	Pta.Tanchacto	Pta. Nizuc
<i>Stegastes_fuscus</i>	1	1	1	0	1	0	0	1	0
<i>Synodus_intermedius</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Trachinotus_goodei</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Acanthostracion_quadricornis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Alectis_cillaris</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Amblycirrhitus_pinos</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Anisotremus_surinamensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Apogon_binotatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Archosargus_probatocephalus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Atherinomorus_stipes</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Bathygobius_curacao</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Bothus_lunatus</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Bothus_ocellatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Calamus_bajonado</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Calamus_calamus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Coryphopterus_dicrus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Coryphopterus_glaucofraenum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cryptotomus_roseus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ctenogobius_stigmaticus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Diplodus_argenteus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Elacantinus_oceanops</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Enneanectes_jordani</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Entomacrodus_nigricans</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Epinephelus_itajara</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Eucinostomus_argenteus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Eucinostomus_lefroyi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gnatholepis_thompsoni</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Grama_melacara</i>	1	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Haemulon_boschmae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Halichoeres_cyanocephalus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Harengula_clupeola</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Anexo A.5. Tabla general de especies de peces por localidad para datos de presencia/ausencia (continuación).

Especie	Chinchorro	Mahahual	Punta Allen	Tulum	Cozumel	Pto.Morelos	Pta.Caracol	Pta.Tanchacto	Pta. Nizuc
<i>Harengula humeralis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Hemiramphus brasiliensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Jenkinsia majua</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Labrisomus kalisherae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Malacoctenus aurolineatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Monacanthus ciliatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Mugil curema</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Mycteroperca rubra</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Myrichthys ocellatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ogcocephalus radiatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Opistognathus aurifrons</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Opistognathus whitehursti</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Parablennius marmoreus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Paranthias furcifer</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ptereleotris calliura</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Scomberomorus maculatus</i>	1	1	0	1	1	1	0	0	1
<i>Scomberomorus regalis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Scorpaenodes caribbaeus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Seriola rivoliana</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Synodus foetens</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Urolophus jamaicensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Xyrichthys splendens</i>	1	1	0	0	1	0	0	1	0

Anexo A.5. Tabla general de especies de peces por localidad para datos de presencia/ausencia (continuación).

Especie	I.Mujeres	I.Contoy	Alacranes	Cayo Arenas	Triangulos	Cayo Arcas	SAV	Tuxpam	Lobos
<i>Thalassoma_bifasciatum</i>	0	0	1	0	0	0	1	1	0
<i>Acanthurus_bahianus</i>	1	0	1	1	1	1	1	1	1
<i>Bodianus_rufus</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	0
<i>Haemulon_flavolineatum</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Sparisoma_viride</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Acanthurus_coeruleus</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	0
<i>Haemulon_sciurus</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	0
<i>Microspathodon_chrysurus</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	0
<i>Sparisoma_rubripinne</i>	0	0	1	0	0	0	1	1	1
<i>Stegastes_planifrons</i>	1	0	1	1	0	1	1	1	0
<i>Anisotremus_virginicus</i>	1	1	1	1	0	1	1	1	1
<i>Canthigaster_rostrata</i>	1	0	1	1	1	1	1	1	1
<i>Caranx_ruber</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	0
<i>Chaetodon_ocellatus</i>	1	0	1	1	1	1	1	0	1
<i>Halichoeres_garnoti</i>	1	1	1	1	1	1	0	1	0
<i>Halichoeres_radiatus</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Mulloidichthys_martinicus</i>	1	0	1	1	1	1	1	1	1
<i>Ocyurus_chrysurus</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Pomacanthus_paru</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Sparisoma_chrysopterum</i>	1	0	1	1	1	1	0	1	0
<i>Halichoeres_bivittatus</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Holacanthus_ciliaris</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	0
<i>Holocentrus_rufus</i>	1	1	1	1	1	1	1	0	0
<i>Lutjanus_griseus</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Pomacanthus_arcuatus</i>	1	1	1	1	1	1	1	0	0
<i>Scarus_vetula</i>	1	0	1	1	1	1	1	1	1
<i>Stegastes_partitus</i>	0	0	1	1	1	1	0	1	1
<i>Acanthurus_chirurgus</i>	1	0	1	1	1	1	1	1	1
<i>Chromis_cyanea</i>	1	0	1	1	0	1	1	1	0
<i>Chromis_multilineata</i>	1	0	1	1	1	1	1	1	0

Anexo A.5. Tabla general de especies de peces por localidad para datos de presencia/ausencia (continuación).

Especie	I.Mujeres	I.Contoy	Alacranes	Cayo Arenas	Triangulos	Cayo Arcas	SAV	Tuxpam	Lobos
<i>Epinephelus_guttatus</i>	0	0	1	1	1	1	1	0	0
<i>Haemulon_plumierii</i>	1	1	1	1	0	1	0	1	0
<i>Holacanthus_tricolor</i>	1	0	1	1	0	1	1	0	1
<i>Scarus_teniopterus</i>	0	1	1	1	1	1	0	1	1
<i>Sphyraena_barracuda</i>	0	0	1	0	0	0	1	1	1
<i>Aulostomus_malacantus</i>	1	1	1	1	1	1	0	0	0
<i>Balistes_vetula</i>	1	0	1	1	0	1	1	1	0
<i>Kyphosus_sectator</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	0
<i>Lactophrys_triqueter</i>	1	1	1	1	0	1	1	1	0
<i>Lutjanus_apodus</i>	1	1	1	1	0	1	1	1	1
<i>Pseudopeneus_maculatus</i>	1	1	1	1	0	0	0	0	0
<i>Scarus_iseri</i>	1	1	1	0	0	1	1	1	1
<i>Serranus_tigrinus</i>	0	0	1	0	0	0	0	1	0
<i>Stegastes_diencaeus</i>	0	0	1	0	0	0	1	1	1
<i>Cephalopholis_cruentata</i>	1	0	1	1	0	1	1	0	0
<i>Epinephelus_striatus</i>	1	1	1	1	0	0	1	0	1
<i>Gramma_loreto</i>	1	0	1	1	1	1	1	0	0
<i>Lutjanus_mahogoni</i>	1	1	1	0	0	1	0	1	0
<i>Mycteroperca_bonaci</i>	0	0	1	1	1	1	1	1	0
<i>Ophioblennius_atlanticus</i>	1	0	1	1	1	1	1	1	1
<i>Stegastes_variabilis</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	0
<i>Aluterus_scriptus</i>	1	0	1	1	0	1	1	1	0
<i>Cephalopholis_fulva</i>	0	0	1	1	0	1	1	0	0
<i>Chaetodon_stniatus</i>	1	0	1	1	0	0	0	0	0
<i>Haemulon_macrostromum</i>	1	0	1	0	1	1	1	1	0
<i>Lachnolaimus_maximus</i>	0	0	1	1	0	1	1	0	1
<i>Scarus_coeruleus</i>	0	1	1	1	0	1	1	0	0
<i>Scarus_guacamaia</i>	1	1	1	1	0	1	1	0	0
<i>Sparisoma_aurofrenatum</i>	1	0	1	0	0	0	1	0	0
<i>Canthidermis_sufflamen</i>	1	0	1	1	0	1	0	0	0

Anexo A.5. Tabla general de especies de peces por localidad para datos de presencia/ausencia (continuación).

Especie	I.Mujeres	I.Contoy	Alacranes	Cayo Arenas	Triangulos	Cayo Arcas	SAV	Tuxpam	Lobos
<i>Clepticus_parrae</i>	1	0	1	1	0	1	1	1	0
<i>Epinephelus_adscensionis</i>	0	0	1	1	1	1	1	1	1
<i>Gerres_cinereus</i>	1	0	1	0	0	1	1	1	0
<i>Haemulon_aurolineatum</i>	1	1	1	1	0	1	1	1	1
<i>Haemulon_carbonarium</i>	1	1	1	1	0	1	0	0	0
<i>Haemulon_chrysargyreum</i>	1	1	1	1	0	1	1	1	0
<i>Halichoeres_maculipinna</i>	1	0	1	1	1	1	1	1	0
<i>Inermia_vittata</i>	1	0	1	1	1	1	1	0	0
<i>Malacanthus_plumieri</i>	1	0	1	0	0	1	1	1	0
<i>Mycteroperca_tigris</i>	0	0	1	1	1	1	1	1	0
<i>Scarus_coelestinus</i>	0	0	1	0	1	0	1	1	1
<i>Abudefduf_saxatilis</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Chromis_insolata</i>	1	0	1	1	0	1	1	1	0
<i>Haemulon_album</i>	1	1	1	0	0	0	1	0	0
<i>Holocentrus_adscensionis</i>	1	0	1	0	1	0	1	1	1
<i>Hypoplectrus_puella</i>	0	0	1	1	1	1	1	0	0
<i>Hypoplectrus_unicolor</i>	1	0	1	1	0	1	1	1	0
<i>Lutjanus_analis</i>	1	0	1	1	0	1	1	1	0
<i>Melichthys_niger</i>	1	0	1	1	0	1	0	0	0
<i>Caranx_latus</i>	0	0	1	1	1	0	1	1	0
<i>Chaetodon_sedentarius</i>	0	0	1	1	0	1	1	1	0
<i>Diodon_hystrix</i>	0	0	1	1	0	1	1	1	0
<i>Gymnothorax_moringa</i>	1	0	1	0	1	1	1	1	0
<i>Pempheris_schomburgkii</i>	1	0	1	1	0	1	1	1	0
<i>Stegastes_leucostictus</i>	1	1	1	1	1	1	0	0	0
<i>Xanthichthys_ringens</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Acanthostracion_poligonius</i>	1	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Cantherhines_pullus</i>	0	0	1	1	0	1	1	1	0
<i>Caranx_hippos</i>	1	0	1	1	0	0	1	1	1
<i>Gymnothorax_funebris</i>	1	0	1	0	1	1	1	0	1

Anexo A.5. Tabla general de especies de peces por localidad para datos de presencia/ausencia (continuación).

Especie	I.Mujeres	I.Contoy	Alacranes	Cayo Arenas	Triangulos	Cayo Arcas	SAV	Tuxpam	Lobos
<i>Heteropriacanthus_cruentatus</i>	1	0	1	0	1	0	0	1	0
<i>Holacanthus_bermudensis</i>	0	0	1	1	1	1	0	1	0
<i>Lutjanus_jocu</i>	1	0	1	0	0	1	1	1	0
<i>Myripristis_jacobus</i>	0	0	1	0	0	0	1	1	0
<i>Pareques_acuminatus</i>	0	0	1	1	0	0	1	0	0
<i>Cantherhines_macrocerus</i>	1	0	1	0	0	0	1	0	0
<i>Caranx_crysos</i>	1	0	1	0	0	1	1	1	0
<i>Chaetodon_aculeatus</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Dasyatis_americana</i>	1	0	1	0	0	1	0	0	0
<i>Diodon_holocanthus</i>	1	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Equetus_lanceolatus</i>	1	0	0	0	0	0	1	1	1
<i>Gymnothorax_miliaris</i>	1	0	1	0	1	0	1	1	0
<i>Haemulon_melanurum</i>	0	0	1	0	0	0	1	0	0
<i>Hypoplectrus_nigricans</i>	0	1	1	0	0	1	1	0	0
<i>Kyphosus_incisor</i>	1	0	1	0	1	0	0	1	1
<i>Lactophrys_bicaudalis</i>	1	0	1	0	0	1	1	0	0
<i>Neoniphon_marianus</i>	0	0	0	0	0	1	1	0	0
<i>Scartella_cristata</i>	0	0	1	0	1	0	0	1	1
<i>Scorpaena_plumieri</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Aetobatus_narinari</i>	0	0	1	0	0	1	0	1	0
<i>Apogon_maculatus</i>	0	0	1	0	0	0	1	1	1
<i>Aulostomus_maculatus</i>	0	0	1	0	0	0	1	1	0
<i>Balistes_capriscus</i>	0	0	1	0	0	0	1	0	1
<i>Carangoides_bartholomaei</i>	1	0	1	0	0	0	0	1	1
<i>Chaetodon_capistratus</i>	0	0	1	0	0	0	1	1	0
<i>Equetus_punctatus</i>	0	0	1	0	0	0	1	1	0
<i>Ginglymostoma_cirratum</i>	1	1	1	0	0	0	0	0	0
<i>Gymnothorax_vicinus</i>	0	0	1	0	1	0	1	0	1
<i>Halichoeres_pictus</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Halichoeres_poeyi</i>	0	0	1	0	0	0	0	1	0
<i>Hypoplectrus_guttavarius</i>	0	0	0	1	1	0	1	0	0

Anexo A.5. Tabla general de especies de peces por localidad para datos de presencia/ausencia (continuación).

Especie	I.Mujeres	I.Contoy	Alacranes	Cayo Arenas	Triangulos	Cayo Arcas	SAV	Tuxpam	Lobos
<i>Labrisomus_nuchipinnis</i>	0	0	1	0	1	0	0	1	1
<i>Lactophrys_trigonus</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Megalops_atlanticus</i>	0	0	1	0	0	1	1	0	0
<i>Mycteroperca_venenosa</i>	0	0	1	0	0	0	1	0	0
<i>Odontoscion_dentex</i>	1	1	1	0	0	0	0	1	0
<i>Sargocentron_vexillarium</i>	0	0	1	0	0	0	1	0	1
<i>Serranus_tortugarum</i>	1	0	1	1	1	1	1	1	0
<i>Sparisoma_radians</i>	1	0	1	1	1	1	1	1	0
<i>Sphoeroides_spengleri</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	0
<i>Stegastes_adustus</i>	0	0	1	0	1	0	0	0	1
<i>Strongylura_notata</i>	0	0	1	1	1	1	1	1	0
<i>Tylosurus_crocodilus</i>	1	0	1	0	0	0	0	1	0
<i>Aluterus_schoepfi</i>	0	0	1	0	0	0	1	0	1
<i>Bathygobius_soporator</i>	0	0	1	0	1	0	0	0	1
<i>Bodianus_pulchellus</i>	0	0	1	0	0	0	1	1	0
<i>Caranx_lugubris</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Chaetodon_striatus</i>	0	0	1	0	0	0	0	1	0
<i>Chromis_scotti</i>	0	0	1	0	0	0	1	1	0
<i>Enchelycore_nigricans</i>	0	0	1	0	1	0	0	0	1
<i>Haemulon_bonariense</i>	0	0	1	0	0	0	1	0	0
<i>Haemulon_parra</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Hypoplectrus_indigo</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Labrisomus_guppyi</i>	0	0	1	0	1	0	0	1	0
<i>Lutjanus_synagris</i>	0	0	1	0	0	0	1	1	0
<i>Malacoctenus_triangulatus</i>	0	0	1	0	0	0	0	1	1
<i>Mycteroperca_interstitialis</i>	0	0	1	0	1	0	0	1	0
<i>Ogilbia_cayorum</i>	0	0	1	0	1	0	0	0	1
<i>Priacanthus_arenatus</i>	0	0	0	0	0	0	1	1	1
<i>Rachycentron_canadum</i>	0	0	1	0	0	0	0	1	0
<i>Rypticus_saponaceus</i>	0	0	1	0	0	0	1	1	0
<i>Seriola_dumerili</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	1

Anexo A.5. Tabla general de especies de peces por localidad para datos de presencia/ausencia (continuación).

Especie	I.Mujeres	I.Contoy	Alacranes	Cayo Arenas	Triangulos	Cayo Arcas	SAV	Tuxpam	Lobos
<i>Stegastes_fuscus</i>	1	0	1	1	1	1	1	1	1
<i>Synodus_intermedius</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Trachinotus_goodei</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Acanthostracion_quadricornis</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Alectis_cillaris</i>	0	0	1	0	0	0	1	0	0
<i>Amblycirrhitus_pinos</i>	0	0	1	0	0	0	1	0	0
<i>Anisotremus_surinamensis</i>	0	0	0	0	0	0	1	1	0
<i>Apogon_binotatus</i>	0	0	1	0	0	0	1	0	0
<i>Archosargus_probatocephalus</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Atherinomorus_stipes</i>	0	0	1	0	1	0	0	0	0
<i>Bathygobius_curacao</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Bothus_lunatus</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Bothus_ocellatus</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Calamus_bajonado</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Calamus_calamus</i>	0	0	1	0	0	0	1	0	0
<i>Coryphopterus_dicrus</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Coryphopterus_glaucofraenum</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Cryptotomus_roseus</i>	0	0	1	0	0	0	0	1	0
<i>Ctenogobius_stigmaticus</i>	0	0	1	0	1	0	0	0	0
<i>Diplodus_argenteus</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Elacatinus_oceanops</i>	0	0	1	0	0	0	0	1	0
<i>Enneanectes_jordani</i>	0	0	1	0	1	0	0	0	0
<i>Entomacrodus_nigricans</i>	0	0	1	0	1	0	0	0	0
<i>Epinephelus_itajara</i>	0	0	1	0	0	0	1	0	0
<i>Eucinostomus_argenteus</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Eucinostomus_lefroyi</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Gnatholepis_thompsoni</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Gramma_melacara</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Haemulon_boschmae</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Halichoeres_cyanocephalus</i>	0	0	1	0	0	0	0	1	0
<i>Harengula_clupeola</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	1

Anexo A.5. Tabla general de especies de peces por localidad para datos de presencia/ausencia (continuación).

Especie	I.Mujeres	I.Contoy	Alacranes	Cayo Arenas	Triangulos	Cayo Arcas	SAV	Tuxpam	Lobos
<i>Harengula_humeralis</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Hemiramphus_brasiliensis</i>	0	0	1	0	0	0	1	0	0
<i>Jenkinsia_majua</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Labrisomus_kalisherae</i>	0	0	1	0	1	0	0	0	0
<i>Malacoctenus_aurolineatus</i>	0	0	1	0	1	0	0	0	0
<i>Monacanthus_ciliatus</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Mugil_curema</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Mycteroperca_rubra</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Myrichthys_ocellatus</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Ogcocephalus_radiatus</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Opistognathus_aurifrons</i>	0	0	1	0	0	0	1	0	0
<i>Opistognathus_whitehursti</i>	0	0	1	0	0	0	1	0	0
<i>Parablennius_marmoreus</i>	0	0	1	0	0	0	1	0	0
<i>Paranthias_furcifer</i>	0	0	1	0	0	0	0	1	0
<i>Ptereleotris_calliura</i>	0	0	1	0	0	0	1	1	1
<i>Scomberomorus_maculatus</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	0
<i>Scomberomorus_regalis</i>	0	0	1	0	0	0	1	0	0
<i>Scorpaenodes_caribbaeus</i>	0	0	1	0	1	0	1	1	1
<i>Seriola_rivoliana</i>	0	0	1	0	0	0	1	1	0
<i>Synodus_foetens</i>	0	0	1	1	1	0	0	1	0
<i>Urolophus_jamaicensis</i>	0	0	1	0	0	0	1	1	1
<i>Xyrichthys_splendens</i>	0	1	1	0	0	1	0	0	0

Anexo A.6. Tabla general de especies de peces por localidad, datos estandarizados convertidos a abundancias relativas y multiplicadas por 100 mil.

Especie	Chinchorro	Mahahual	Punta Allen	Tulum	Cozumel	Pto.Morelos	Pta.Caracol
<i>Abudefduf saxatilis</i>	10.7	217.9					
<i>Acanthostracion polygonius</i>	29.2	78.2					
<i>Acanthurus bahianus</i>		1103.2			2.7	8.3	
<i>Acanthurus chirurgus</i>		2778.5			43.2		
<i>Acanthurus coeruleus</i>	14.0	3541.3					
<i>Aetobatus narinari</i>	805.7						
<i>Aluterus scriptus</i>	10.7						
<i>Anisotremus surinamensis</i>		27.2					
<i>Anisotremus virginicus</i>		109.0					
<i>Apogon maculatus</i>							
<i>Archosargus probatocephalus</i>							
<i>Aulostomus maculatus</i>		13.6					
<i>Balistes capriscus</i>							
<i>Balistes vetula</i>	24.3	93.6		116.0	16.2	141.7	67.8
<i>Bodianus pulchellus</i>							
<i>Bodianus rufus</i>		188.9		1856.1			
<i>Bothus lunatus</i>	3637.8	781.9	1860.5	1856.1	451.3	33.4	135.6
<i>Calamus calamus</i>							
<i>Cantherhines macrocerus</i>	3.2						
<i>Cantherhines pullus</i>	3.4				2.7	25.0	67.8
<i>Canthidermis sufflamen</i>	17.0	156.4		116.0			
<i>Canthigaster rostrata</i>	10.7	13.6		1856.1			
<i>Carangoides bartholomaei</i>	165.2	195.5	1860.5		2.7		
<i>Carangoides ruber</i>	483.2	1068.9		1856.1	21.6	75.0	
<i>Caranx crysos</i>	6.7	39.1	465.1	116.0		25.0	67.8
<i>Caranx hippos</i>	26.3			232.0	262.1	16.7	339.0
<i>Caranx latus</i>	46.4						67.8
<i>Caranx lugubris</i>	150.9	39.1			5.4	8.3	67.8
<i>Cephalopholis cruentata</i>	52.0	54.5	1860.5		64.9		
<i>Cephalopholis fulva</i>	9.7	258.8	1860.5	116.0			

Anexo A.6. Tabla general de especies de peces por localidad, datos estandarizados convertidos a abundancias relativas y multiplicadas por 100 mil (continuación).

Especie	Pta.Tanchacto	Punta Nizuc	I.Mujeres	I.Contoy	Alacranes	Cayo Arenas	Triangulos	Cayo Arcas	Tuxpam
<i>Abudefduf saxatilis</i>			14.9	13.0					12237.2
<i>Acanthostracion polygonius</i>			1.9					2.9	
<i>Acanthurus bahianus</i>									566.8
<i>Acanthurus chirurgus</i>					101.8			11.5	866.8
<i>Acanthurus coeruleus</i>								2.9	62.8
<i>Aetobatus narinari</i>									2.0
<i>Aluterus scriptus</i>			1.9					2.9	5.9
<i>Anisotremus surinamensis</i>									302.0
<i>Anisotremus virginicus</i>			3.7		6.0			2.9	182.4
<i>Apogon maculatus</i>									11.8
<i>Archosargus probatocephalus</i>									47.1
<i>Aulostomus maculatus</i>			1.9						21.6
<i>Balistes capriscus</i>						111.6	333.9		
<i>Balistes vetula</i>			3.7	13.0	12.0	20.8	83.5	8.6	13.7
<i>Bodianus pulchellus</i>									2.0
<i>Bodianus rufus</i>			7.5						1013.9
<i>Bothus lunatus</i>			9.3	13.0	509.0	65.5	333.9	91.6	
<i>Calamus calamus</i>									5.9
<i>Cantherhines macrocerus</i>					449.2				
<i>Cantherhines pullus</i>	89.2				113.8	56.5	83.5	85.9	31.4
<i>Canthidermis sufflamen</i>								214.8	
<i>Canthigaster rostrata</i>									137.3
<i>Carangoides bartholomaei</i>	89.2		39.2		131.8	87.8	1669.4	83.0	45.1
<i>Carangoides ruber</i>	356.8				24.0	1.5		14.3	219.6
<i>Caranx crysos</i>			11.2		6.0	136.9		25.8	272.6
<i>Caranx hippos</i>	22.3	189.8			610.9	1.5		54.4	9.8
<i>Caranx latus</i>					35.9	3.0	83.5	54.4	262.8
<i>Caranx lugubris</i>			1.9	13.0	35.9	25.3			
<i>Cephalopholis cruentata</i>					35.9	64.0	83.5	108.8	27.5
<i>Cephalopholis fulva</i>					53.9	156.2	166.9	77.3	

Anexo A.6. Tabla general de especies de peces por localidad, datos estandarizados convertidos a abundancias relativas y multiplicadas por 100 mil (continuación).

Especie	Chinchorro	Mahahual	Punta Allen	Tulum	Cozumel	Pto.Morelos	Pta.Caracol
<i>Chaetodipterus faber</i>	6.9				2.7		
<i>Chaetodon capistratus</i>		626.5					
<i>Chaetodon ocellatus</i>		81.7					67.8
<i>Chaetodon sedentarius</i>					2.7		
<i>Chaetodon striatus</i>	39.5	3122.7			56.8	41.7	542.4
<i>Chromis cyanea</i>		11359.3					25423.7
<i>Chromis insolata</i>	3623.3	3557.5		2320.2	45.9	567.0	
<i>Chromis multilineata</i>	353.3				43.2		
<i>Chromis scotti</i>							
<i>Clepticus parrae</i>	10.1	7423.0	465.1				
<i>Cryptotomus roseus</i>							
<i>Dasyatis americana</i>	235.9				2.7		
<i>Diodon holocanthus</i>				8700.7		1384.1	
<i>Diodon hystrix</i>	101.6					8.3	67.8
<i>Diplodus argenteus argenteus</i>							
<i>Elagatis bipinnulata</i>							
<i>Epinephelus adscensionis</i>	739.7	195.5		928.1	248.6	542.0	
<i>Epinephelus guttatus</i>		27.2					
<i>Epinephelus striatus</i>							
<i>Equetus lanceolatus</i>	10.7				2.7		
<i>Equetus punctatus</i>		13.6					
<i>Eucinostomus gula</i>							
<i>Gerres cinereus</i>	794.5	39.1		116.0	608.1	2067.9	
<i>Ginglymostoma cirratum</i>	43.0				256.7		
<i>Gobiosoma oceanops</i>							
<i>Gramma loreto</i>	820.5	1264.9		464.0	300.0	300.2	67.8
<i>Gramma melacara</i>		625.5					
<i>Gymnothorax funebris</i>	500.9					266.8	
<i>Gymnothorax miliaris</i>							
<i>Gymnothorax moringa</i>					43.2		
<i>Haemulon album</i>	415.4				1056.7		

Anexo A.6. Tabla general de especies de peces por localidad, datos estandarizados convertidos a abundancias relativas y multiplicadas por 100 mil (continuación).

Especie	Pta.Tanchacto	Punta Nizuc	I.Mujeres	I.Contoy	Alacranes	Cayo Arenas	Triangulos	Cayo Arcas	Tuxpam
<i>Chaetodipterus faber</i>					6.0				3.9
<i>Chaetodon capistratus</i>									151.0
<i>Chaetodon ocellatus</i>									204.0
<i>Chaetodon sedentarius</i>						3.0	83.5		82.4
<i>Chaetodon striatus</i>			3.7		155.7	583.3	1335.6	31.5	
<i>Chromis cyanea</i>			1.9						13.7
<i>Chromis insolata</i>			141.9		3347.7	153.3	333.9	85.9	60.8
<i>Chromis multilineata</i>									39794.5
<i>Chromis scotti</i>									2751.4
<i>Clepticus parrae</i>			1.9		107.8	13.4		11.5	394.2
<i>Cryptotomus roseus</i>									15.7
<i>Dasyatis americana</i>			3.7						
<i>Diodon holocanthus</i>			140.0		29943.7		6260.4	5727.5	
<i>Diodon hystrix</i>	89.2		7.5					2.9	15.7
<i>Diplodus argenteus argenteus</i>									86.3
<i>Elagatis bipinnulata</i>									2.0
<i>Epinephelus adscensionis</i>	1694.9	3036.1	741.1	208.4	1539.1	610.1	83.5	120.3	239.3
<i>Epinephelus guttatus</i>			7.5						
<i>Epinephelus striatus</i>			29.9					45.8	
<i>Equetus lanceolatus</i>						26.8			2.0
<i>Equetus punctatus</i>									2.0
<i>Eucinostomus gula</i>									600.1
<i>Gerres cinereus</i>		759.0	427.5	208.4				2.9	15.7
<i>Ginglymostoma cirratum</i>									
<i>Gobiosoma oceanops</i>									3.9
<i>Gramma loreto</i>			209.1	52.1	197.6	7825.5	1335.6	335.1	
<i>Gramma melacara</i>			4433.5	208.4		49.1			
<i>Gymnothorax funebris</i>			3873.4	65129.6				214.8	
<i>Gymnothorax miliaris</i>			140.0						
<i>Gymnothorax moringa</i>									2.0
<i>Haemulon album</i>	89.2								

Anexo A.6. Tabla general de especies de peces por localidad, datos estandarizados convertidos a abundancias relativas y multiplicadas por 100 mil (continuación).

Especie	Chinchorro	Mahahual	Punta Allen	Tulum	Cozumel	Pto.Morelos	Pta.Caracol
<i>Haemulon aurolineatum</i>				1856.1	2.7	833.8	
<i>Haemulon bonariense</i>	46.2				248.6	8.3	
<i>Haemulon boschmae</i>	602.1	39.1		8816.7	45.9	233.5	542.4
<i>Haemulon carbonarium</i>	19.7	156.4			202.7	933.9	
<i>Haemulon chrysargyreum</i>	417.1	781.9		580.0	1216.1	5444.8	5084.7
<i>Haemulon flavolineatum</i>	1390.7	251.7		8700.7	2445.7	8938.5	10169.5
<i>Haemulon macrostomum</i>		313.3		2320.2	2.7	91.7	339.0
<i>Haemulon melanurum</i>							
<i>Haemulon parra</i>				464.0	5.4	8.3	
<i>Haemulon plumierii</i>	3.2	95.3					
<i>Haemulon sciurus</i>	392.2	3679.3	7441.9		97.3	667.1	67.8
<i>Halichoeres bivittatus</i>	132.8	290.8		928.1	18.9	241.8	1084.7
<i>Halichoeres cyanocephalus</i>							
<i>Halichoeres garnoti</i>	171.9	313.3					
<i>Halichoeres maculipinna</i>	257.3	258.8			2.7	50.0	
<i>Halichoeres pictus</i>	175.3			116.0	451.3	842.2	
<i>Halichoeres poeyi</i>		177.1					
<i>Halichoeres radiatus</i>		40.9					
<i>Heteroconger longissimus</i>					2.7		
<i>Heteropriacanthus cruentatus</i>	30.8	156.4			10.8	33.4	
<i>Holacanthus bermudensis</i>	73.6	78.2	1860.5	464.0	37.8	116.7	67.8
<i>Holacanthus ciliaris</i>	140.1	54.5	465.1	464.0	10.8	175.1	339.0
<i>Holacanthus tricolor</i>	13.0	640.2			13.5		
<i>Holocentrus adscensionis</i>	17.6	136.2		116.0			
<i>Holocentrus rufus</i>	55.2	210.9	1860.5	464.0	70.3	58.4	813.6
<i>Hypoplectrus aberrans</i>		13.6					
<i>Hypoplectrus chlorurus</i>	192.0	312.7		232.0	154.0	250.1	339.0
<i>Hypoplectrus guttavarius</i>	7307.2	2932.0	7441.9	116.0	24660.2	2509.8	
<i>Hypoplectrus indigo</i>	68.3	156.4			64.9	58.4	135.6
<i>Hypoplectrus nigricans</i>	108.1			116.0	89.2	166.8	542.4
<i>Hypoplectrus puella</i>			1860.5				

Anexo A.6. Tabla general de especies de peces por localidad, datos estandarizados convertidos a abundancias relativas y multiplicadas por 100 mil (continuación).

Especie	Pta.Tanchacto	Punta Nizuc	I.Mujeres	I.Contoy	Alacranes	Cayo Arenas	Triangulos	Cayo Arcas	Tuxpam
<i>Haemulon aurolineatum</i>			13.1				83.5	68.7	1559.1
<i>Haemulon bonariense</i>	356.8		147.5	52.1					
<i>Haemulon boschmae</i>	446.0		1681.9	208.4	131.8				
<i>Haemulon carbonarium</i>			9503.5	208.4					
<i>Haemulon chrysargyreum</i>	22.3	3036.1	22857.9	26051.8	191.6		83.5	22.9	3779.0
<i>Haemulon flavolineatum</i>	22.3	3036.1	23810.0	13.0	922.3	446.4	417.4	652.9	2088.6
<i>Haemulon macrostomum</i>	356.8	189.8	4448.4	13.0	6.0	6.0			68.6
<i>Haemulon melanurum</i>			9.3	52.1					
<i>Haemulon parra</i>						1.5			
<i>Haemulon plumierii</i>			1.9						23.5
<i>Haemulon sciurus</i>		3036.1	149.3		149.7	184.5	2671.1	515.5	3.9
<i>Halichoeres bivittatus</i>	44.6	189.8	16.8	208.4	29.9	23.8			5557.7
<i>Halichoeres cyanocephalus</i>									3.9
<i>Halichoeres garnoti</i>			309.9			558.0		214.8	7.8
<i>Halichoeres maculipinna</i>		189.8	7.5					2.9	315.7
<i>Halichoeres pictus</i>			339.7	52.1		148.8		266.3	
<i>Halichoeres poeyi</i>									9.8
<i>Halichoeres radiatus</i>			7.5		95.8				831.5
<i>Heteroconger longissimus</i>									
<i>Heteropriacanthus cruentatus</i>				52.1	18.0	3.0		28.6	3.9
<i>Holacanthus bermudensis</i>			11.2		53.9	7.4			13.7
<i>Holacanthus ciliaris</i>		759.0	11.2		125.8	62.5	417.4	203.3	11.8
<i>Holacanthus tricolor</i>					59.9	13.4		11.5	
<i>Holocentrus adscensionis</i>	22.3							11.5	117.7
<i>Holocentrus rufus</i>			70.9	208.4	113.8	19.3	83.5	74.5	
<i>Hypoplectrus aberrans</i>									
<i>Hypoplectrus chlorurus</i>	22.3		13.1			6.0		11.5	
<i>Hypoplectrus guttavarius</i>	356.8	14231.5	1689.4	208.4	1024.1	4163.5	6260.4	21670.2	
<i>Hypoplectrus indigo</i>	22.3		37.3	13.0	59.9	4.5	83.5	20.0	
<i>Hypoplectrus nigricans</i>			72.8	208.4		44.6	333.9	25.8	
<i>Hypoplectrus puella</i>					59.9	19.3	333.9	45.8	

Anexo A.6. Tabla general de especies de peces por localidad, datos estandarizados convertidos a abundancias relativas y multiplicadas por 100 mil (continuación).

Especie	Chinchorro	Mahahual	Punta Allen	Tulum	Cozumel	Pto.Morelos	Pta.Caracol
<i>Hypoplectrus unicolor</i>							
<i>Inermia vittata</i>		3621.9	465.1			3135.2	542.4
<i>Kyphosus incisor</i>							
<i>Kyphosus sectator</i>	5418.1	1251.0	7441.9	2320.2	11620.7	1067.3	5220.3
<i>Labrisomus guppyi</i>							
<i>Labrisomus nuchipinnis</i>							
<i>Lachnolaimus maximus</i>	68.6				2.7		
<i>Lactophrys bicaudalis</i>	125.2			116.0	5.4	141.7	
<i>Lactophrys trigonus</i>	2968.6	625.5		1972.2	6823.8	4460.9	271.2
<i>Lactophrys triqueter</i>	2597.0	39.1		116.0	335.1	2034.5	67.8
<i>Lutjanus analis</i>	2207.2	81.7	7441.9	116.0	97.3	1025.6	271.2
<i>Lutjanus apodus</i>	10118.3	6749.3	7441.9		27270.8	2209.6	6440.7
<i>Lutjanus griseus</i>	180.1	469.6	1860.5	232.0	5.4	125.1	339.0
<i>Lutjanus jocu</i>	19.7	54.5		232.0	13.5	8.3	271.2
<i>Lutjanus mahogoni</i>	870.6			1856.1		16.7	
<i>Lutjanus synagris</i>							
<i>Malacanthus plumieri</i>	189.3				43.2	166.8	1355.9
<i>Malacoctenus triangulatus</i>							
<i>Megalops atlanticus</i>	7853.6	312.7	465.1	232.0	7648.0	883.8	5084.7
<i>Melichthys niger</i>	328.4	122.6					
<i>Membras martinica</i>							
<i>Microspathodon chrysurus</i>		231.5			43.2	33.4	
<i>Mulloidichthys martinicus</i>					10.8		
<i>Mycteroperca bonaci</i>	17925.1	15285.4	7441.9	26102.1	6621.1	28733.4	25423.7
<i>Mycteroperca interstitialis</i>							
<i>Mycteroperca tigris</i>	8894.6	5864.0				266.8	
<i>Mycteroperca venenosa</i>	475.4	170.0		696.1	245.9	2451.4	
<i>Myripristis jacobus</i>	795.7	136.2	465.1	1856.1	697.2	1634.3	5355.9
<i>Neoniphon marianus</i>	790.9	39.1	465.1	2088.2	48.6	1984.5	271.2
<i>Ocyurus chrysurus</i>		549.6		464.0		475.3	
<i>Odontoscion dentex</i>	374.6			580.0	86.5	808.8	

Anexo A.6. Tabla general de especies de peces por localidad, datos estandarizados convertidos a abundancias relativas y multiplicadas por 100 mil (continuación).

Especie	Pta.Tanchacto	Punta Nizuc	I.Mujeres	I.Contoy	Alacranes	Cayo Arenas	Triangulos	Cayo Arcas	Tuxpam
<i>Hypoplectrus unicolor</i>						558.0			11.8
<i>Inermia vittata</i>	22.3				2892.6	784.2		2.9	
<i>Kyphosus incisor</i>					209.6	166.7	6260.4	14.3	
<i>Kyphosus sectator</i>	111.5		158.7		2371.5	1421.1		484.0	2220.0
<i>Labrisomus guppyi</i>									2.0
<i>Labrisomus nuchipinnis</i>									37.3
<i>Lachnolaimus maximus</i>			1.9		6.0	1.5		14.3	
<i>Lactophrys bicaudalis</i>		189.8	39.2	13.0		7.4	417.4	1231.4	
<i>Lactophrys trigonus</i>	89.2	189.8	12100.1	52.1	479.1	208.3		6632.5	
<i>Lactophrys triqueter</i>	89.2	3036.1	481.6	976.9	101.8	437.5	83.5	1566.5	29.4
<i>Lutjanus analis</i>			39.2		910.3	26665.5	6260.4	34769.0	7.8
<i>Lutjanus apodus</i>	89.2		729.9		551.0	3717.1		57.3	27.5
<i>Lutjanus griseus</i>	44.6	189.8	84.0	52.1	35.9	196.4	166.9	85.9	347.1
<i>Lutjanus jocu</i>					18.0	1.5		2.9	37.3
<i>Lutjanus mahogoni</i>		189.8	1.9	976.9	95.8	1.5		151.8	86.3
<i>Lutjanus synagris</i>									2.0
<i>Malacanthus plumieri</i>	22.3		171.7	976.9	6.0	171.1	1335.6	77.3	3.9
<i>Malacoctenus triangulatus</i>									13.7
<i>Megalops atlanticus</i>	46275.6		98.9	52.1	3341.7	10.4	12520.9	11.5	
<i>Melichthys niger</i>			141.9		545.0	6.0		1205.6	
<i>Membras martinica</i>									4020.2
<i>Microspathodon chrysurus</i>		189.8							353.0
<i>Mulloidichthys martinicus</i>					24.0				555.0
<i>Mycteroperca bonaci</i>	46275.6	189.8	759.8	976.9	1197.7	11748.0	6260.4	1205.6	47.1
<i>Mycteroperca interstitialis</i>									31.4
<i>Mycteroperca tigris</i>			1569.9		29991.6	3199.3		272.1	2.0
<i>Mycteroperca venenosa</i>	178.4	3036.1	33.6	208.4	545.0	214.3	333.9	163.2	
<i>Myripristis jacobus</i>	379.1	3036.1	201.6		95.8	363.1	1335.6	426.7	11.8
<i>Neoniphon marianus</i>	446.0	3036.1	82.1	52.1	1137.9	1699.3	1335.6	3631.3	
<i>Ocyurus chrysurus</i>	356.8		65.3		467.1	160.7	1335.6	65.9	396.1
<i>Odontoscion dentex</i>		14231.5	61.6	52.1	119.8	2438.9	7596.0	4602.1	2.0

Anexo A.6. Tabla general de especies de peces por localidad, datos estandarizados convertidos a abundancias relativas y multiplicadas por 100 mil (continuación).

Especie	Chinchorro	Mahahual	Punta Allen	Tulum	Cozumel	Pto.Morelos	Pta.Caracol
<i>Ophioblennius atlanticus</i>	1513.6	781.9			259.4	4669.4	
<i>Paranthias furcifer</i>							
<i>Pareques acuminatus</i>							
<i>Pempheris schomburgkii</i>	171.2	39.1	34883.7	116.0		141.7	
<i>Pomacanthus arcuatus</i>	776.2	175.3			13.5	83.4	
<i>Pomacanthus paru</i>	13.7	54.5			2.7	8.3	
<i>Priacanthus arenatus</i>							
<i>Prognathodes aculeatus</i>	58.3	40.9					
<i>Pseudupeneus maculatus</i>	27.7	81.7		464.0		41.7	
<i>Ptereleotris calliura</i>							
<i>Sargocentron vexillarium</i>							
<i>Scartella cristata</i>							
<i>Scarus coelestinus</i>	3314.3	625.5		2436.2	1835.0	5645.0	1084.7
<i>Scarus coeruleus</i>	1575.1	39.1	1860.5	10556.8	427.0	9255.4	1084.7
<i>Scarus guacamaia</i>	108.8	156.4		116.0		100.1	67.8
<i>Scarus iseri</i>		926.2					
<i>Scarus taeniopterus</i>	3.4	354.1					
<i>Scarus vetula</i>	590.4	1019.8			100.0	133.4	
<i>Scomberomorus regalis</i>		13.6					
<i>Scorpaena plumieri</i>							
<i>Seriola rivoliana</i>							
<i>Serranus tigrinus</i>	46.2	66.3			43.2		
<i>Serranus tortugarum</i>	38.0	156.4		116.0	2.7	133.4	
<i>Sparisoma aurofrenatum</i>	10.7	149.8					
<i>Sparisoma chrysopterum</i>					10.8	50.0	
<i>Sparisoma cretense</i>	1075.2			580.0		308.5	
<i>Sparisoma radians</i>							
<i>Sparisoma rubripinne</i>	3.2	13.6			13.5	8.3	
<i>Sparisoma viride</i>	21.5	871.7		116.0	18.9	41.7	
<i>Sphoeroides spengleri</i>							
<i>Sphyraena barracuda</i>	17.2						

Anexo A.6. Tabla general de especies de peces por localidad, datos estandarizados convertidos a abundancias relativas y multiplicadas por 100 mil (continuación).

Especie	Pta.Tanchacto	Punta Nizuc	I.Mujeres	I.Contoy	Alacranes	Cayo Arenas	Triangulos	Cayo Arcas	Tuxpam
<i>Ophioblennius atlanticus</i>		14231.5		976.9	41.9	113.1		260.6	762.9
<i>Paranthias furcifer</i>									39.2
<i>Pareques acuminatus</i>			37.3			6.0			
<i>Pempheris schomburgkii</i>			7.5		11779.9	9892.4	12520.9	8304.9	11.8
<i>Pomacanthus arcuatus</i>			1.9	52.1	592.9	74.4		366.6	
<i>Pomacanthus paru</i>			3.7	52.1				45.8	111.8
<i>Priacanthus arenatus</i>									68.6
<i>Prognathodes aculeatus</i>				13.0				2.9	
<i>Pseudupeneus maculatus</i>			1.9		6.0	19.3	333.9	126.0	337.3
<i>Ptereleotris calliura</i>									23.5
<i>Sargocentron vexillarium</i>									5.9
<i>Scartella cristata</i>									2.0
<i>Scarus coelestinus</i>	713.6	14231.5	487.2	976.9	766.6	9852.2		246.3	
<i>Scarus coeruleus</i>	713.6	759.0	752.3		628.8	3223.1	12520.9	790.4	
<i>Scarus guacamaia</i>	22.3		1.9		41.9	26.8		2.9	17.6
<i>Scarus iseri</i>									
<i>Scarus taeniopterus</i>									2829.9
<i>Scarus vetula</i>			1.9			587.8		11.5	211.8
<i>Scomberomorus regalis</i>									
<i>Scorpaena plumieri</i>									2.0
<i>Seriola rivoliana</i>									2.0
<i>Serranus tigrinus</i>	22.3			52.1	24.0			57.3	2.0
<i>Serranus tortugarum</i>			1.9		29.9	7.4		5.7	
<i>Sparisoma aurofrenatum</i>					6.0	7.4		2.9	149.0
<i>Sparisoma chrysopterum</i>			16.8		29.9				5.9
<i>Sparisoma cretense</i>		14231.5	332.3		77.9	6205.1		312.2	
<i>Sparisoma radians</i>									215.7
<i>Sparisoma rubripinne</i>	22.3		9.3			7.4		8.6	413.8
<i>Sparisoma viride</i>		189.8	1.9	13.0	18.0	4.5		31.5	66.7
<i>Sphoeroides spengleri</i>									2.0
<i>Sphyraena barracuda</i>			1.9					2.9	80.4

Anexo A.6. Tabla general de especies de peces por localidad, datos estandarizados convertidos a abundancias relativas y multiplicadas por 100 mil (continuación).

Especie	Chinchorro	Mahahual	Punta Allen	Tulum	Cozumel	Pto.Morelos	Pta.Caracol
<i>Stegastes adustus</i>	3.2				5.4		
<i>Stegastes diencaeus</i>	1355.0	761.7			1056.7	41.7	
<i>Stegastes fuscus</i>		640.2					
<i>Stegastes leucostictus</i>		435.8					
<i>Stegastes partitus</i>	2125.0	2288.2			1110.7	316.9	
<i>Stegastes planifrons</i>		803.6					
<i>Stegastes variabilis</i>		720.1				141.7	
<i>Strongylura notata notata</i>					2.7		67.8
<i>Synodus intermedius</i>							
<i>Thalassoma bifasciatum</i>	31.2	2996.5			16.2	8.3	135.6
<i>Trachinotus goodei</i>	96.2		465.1	116.0	64.9	8.3	67.8
<i>Urobatis jamaicensis</i>	3.2					16.7	67.8
<i>Xanthichthys ringens</i>	3.4					8.3	

Anexo A.6. Tabla general de especies de peces por localidad, datos estandarizados convertidos a abundancias relativas y multiplicadas por 100 mil (continuación).

Especie	Pta.Tanchacto	Punta Nizuc	I.Mujeres	I.Contoy	Alacranes	Cayo Arenas	Triangulos	Cayo Arcas	Tuxpam
<i>Stegastes adustus</i>								2.9	4659.6
<i>Stegastes diencaeus</i>	22.3		841.9	52.1	101.8	56.5	6260.4	280.6	
<i>Stegastes fuscus</i>									
<i>Stegastes leucostictus</i>			7.5						376.5
<i>Stegastes partitus</i>			5140.9	13.0				1076.8	594.2
<i>Stegastes planifrons</i>			29.9		95.8			14.3	523.6
<i>Stegastes variabilis</i>			1.9			1.5		2.9	305.9
<i>Strongylura notata notata</i>		189.8							5.9
<i>Synodus intermedius</i>									2.0
<i>Thalassoma bifasciatum</i>			3.7						4738.0
<i>Trachinotus goodei</i>			11.2		143.7	23.8	83.5	88.8	3.9
<i>Urobatis jamaicensis</i>			11.2						
<i>Xanthichthys ringens</i>					6.0	3.0		14.3	