

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
IZTAPALAPA**



Casa abierta al tiempo

**CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
MAESTRIA EN BIOLOGÍA**

**Distribución y Abundancia de las Especies de Peces
Típicas en el Sistema Arrecifal de Akumal, Caribe Mexicano:
Relaciones Peces-Hábitat**

TESIS

**Que para obtener el grado de
MAESTRO EN BIOLOGÍA**

PRESENTA

Jorge Christian Alva Basurto

Directora de Tesis

M. en C. Silvia Díaz Ruiz

Tutores

Dr. Manuel Castillo Rivera

Dra. Ana Laura Lara Domínguez

Enero 2007

El jurado designado por la
División de ciencias Básicas y de la Salud
de la Unidad Iztapalapa aprobó la tesis que presentó

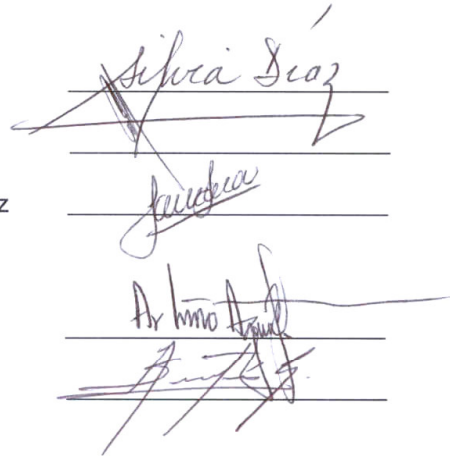
Jorge Christian Alva Basurto

El día 8 de enero del 2007

Comité Tutoral

Codirectora: M. en C. Silvia Díaz Ruiz
Codirector: Dr. Manuel Castillo Rivera
Asesor: Dra. Ana Laura Lara Domínguez

Sinodal: M. en C. Arturo Aguirre-León
Sinodal: Dr. Abel Sentíes Granados



Handwritten signatures of the committee members over horizontal lines. The signatures are: Silvia Díaz Ruiz, Manuel Castillo Rivera, Ana Laura Lara Domínguez, Arturo Aguirre-León, and Abel Sentíes Granados.

**“La Maestría en Biología de la Universidad Autónoma
Metropolitana pertenece al Padrón Nacional de Posgrado del
CONACyT, con la categoría de Alto Nivel”**

La presente tesis se desarrolló en el Laboratorio de Ictiología y Ecología Costera del Departamento de Hidrobiología, de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, dentro del Proyecto de Investigación “Caracterización Ecológica del Sistema Arrecifal Coralino de Akumal, Caribe Mexicano”. Segunda Etapa-bienio 2002-2003, el cual contó con el financiamiento de la Universidad Autónoma Metropolitana.

DEDICATORIA

A Alison N. Alva García, porque eres la mejor manifestación de amor y me has enseñado a vivir la vida de forma diferente y más divertida. A TÍ AMOR MÍO, por donarme parte de tus días y permitirme adentrar más en el esplendoroso mundo marino. Esos días no fueron perdidos, fueron invertidos en TU FUTURO, porque la intención de este trabajo entre otros es promover la protección y conservación de estos recursos naturales tan valiosos, el cual deseo fervientemente que le puedas disfrutar TÚ y MUCHAS GENERACIONES MÁS.

A Maria Teresa M. Basurto Cruz, por ser una excelente madre y un ejemplo a seguir de amor, cariño, dulzura, valor, apoyo, comprensión, paciencia, entrega, un hermoso apellido y muchísimas otras cualidades más, que no terminaría de enumerar. Mami, este trabajo es el fruto de todas tus noches sin dormir, preocupaciones de toda tu vida, la cual diste para sacarnos adelante a nosotros -tus hijos-. ¡GRACIAS POR COMPARTIR CONMIGO TU VIDA!.

A Jorge Alva Bárcenas, por ser un maravilloso padre, muestra de tesón, cariño, lucha por sus y mis ideales, porque sé que estás conmigo, porque sembraste en mí la semilla del amor por la vida y el cariño por la biología marina, además por tu apoyo incondicional en todo momento. ¡TE AMARÉ POR SIEMPRE!.

A Geovanna y Manuel, porque ustedes, mis hermanos, me han dado un ejemplo invaluable de fuerza, nobleza, espiritualidad, valor y ternura, los cuales tomo como estandarte para una vida amorosa y mejor, con ustedes y con el mundo que me rodea.

A Maria Cruz, Manuel Basurto Pérez y Marcelino Alva, a ustedes, por ser también mis padres, porque me han amado y me han enseñado una forma diferente de vida. ¡MUCHAS GRACIAS!

AGRADECIMIENTOS

Al Departamento de Hidrobiología de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, el apoyo institucional y económico en actividades de campo y laboratorio para realizar este estudio a través de proyectos de investigación adscritos al laboratorio de Ictiología y Ecología Costera, particularmente al proyecto:

“Caracterización Ecológica del Sistema Arrecifal Coralino de Akumal, Caribe Mexicano”. Primera Etapa-Bienio 2000-2001, Segunda Etapa-bienio 2002-2003 (LIEC-CBS-UAMI)”

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para realizar mis estudios de Maestría en Biología.

A la M. en C. Silvia Díaz-Ruiz por la dirección de esta tesis, asesoría y estímulo constante a lo largo del trabajo. A los profesores Dr. Manuel Castillo Rivera, Dra. Ana Laura Lara Domínguez, M. en C. Arturo Aguirre León y Dr. Abel Senties Granados por su cuidadosa revisión del manuscrito y sus valiosos comentarios y sugerencias.

Especialmente al M. en C. Arturo Aguirre-León por su asesoría en el análisis estadístico de datos y sugerencias en el desarrollo de futuras líneas de investigación. Al Dr. Manuel Castillo-Rivera por sus comentarios y asesoría en el uso y préstamo de paquetes estadísticos.

A los amigos y compañeros del laboratorio de Ictiología y Ecología Costera por sus comentarios y críticas en diferentes etapas de este estudio. Especial agradecimiento a Enrique Cano-Quiroga, Raúl Ortega-Bernal, Rosario Martínez-

Olvera, Fátima Rosas-García y Elín Pérez-Ponce por su colaboración en las distintas campañas de campo y laboratorio.

A mis compañeros de la maestría, por su excelente amistad y por los magníficos momentos que hemos pasado juntos. Especialmente a Loraine y Maricela por su enorme paciencia y las palabras de aliento que han tenido en los momentos difíciles de mi vida, por ser mis compañeras en las buenas y en las malas y porque siempre están dispuestas a ofrecerme incondicionalmente su ayuda.

Y a todas aquellas personas que de alguna u otra forma, coadyuvaron al desarrollo y culminación de este trabajo. A TODOS USTEDES ¡MUCHAS GRACIAS!

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	6
OBJETIVOS	9
HIPÓTESIS	10
ÁREA DE ESTUDIO	
Características generales del la región del Caribe Mexicano	11
Akumal	13
Descripción del área.....	13
Perfil batimétrico y zonación de hábitats.....	14
Vegetación marina.....	17
Fauna marina.....	18
MÉTODOS	
Actividades de Campo	19
Actividades de Laboratorio	21
RESULTADOS	
Análisis de las Variables Ambientales del Sistema Arrecifal de Akumal	25
Definición de las Especies Típicas	29

Diagnos	33
<i>Abudefduf saxatilis</i>	33
<i>Acanthurus bahianus</i>	34
<i>Acanthurus chirurgus</i>	35
<i>Acanthurus coeruleus</i>	36
<i>Haemulon flavolineatum</i>	38
<i>Haemulon sciurus</i>	39
<i>Halichoeres radiatus</i>	40
<i>Microspathodon chrysurus</i>	41
<i>Scarus taeniopterus</i>	43
<i>Sparisoma viride</i>	44
<i>Stegastes adustus</i>	45
<i>Thalassoma bifasciatum</i>	46
Análisis Ecológico de las Especies Típicas	48
Análisis espacio-temporal de cada especie típica	48
Correlaciones de cada especie típica con el ambiente	87
Correlaciones de las especies típicas con el ambiente	91
Abundancia espacio-temporal de las especies típicas	92
Análisis de Correspondencia Canónica	102
DISCUSIÓN	105
Variables ambientales	105
Especies típicas	107
Distribución	109
Abundancia	111
Relaciones peces-hábitat	117
CONCLUSIONES	119
LITERATURA CITADA	122

RESUMEN

La alta diversidad de peces arrecifales coralinos hace complejo el problema de su evaluación a nivel de ecosistema. Una de las estrategias que permite conocer estas comunidades a una escala de menor complejidad, es detectar a las especies típicas cuyos parámetros ecológicos (*i. e.* densidad, frecuencia de aparición, distribución) predominan en la estructura de la comunidad. El análisis de poblaciones típicas hace más accesible la interpretación de la ecología del sistema. El comprender como funcionan estas especies permite analizar el comportamiento de otras especies, estableciendo los principales patrones de la comunidad en relación a las características ambientales, sus variaciones estacionales y las interacciones peces/hábitat. Se realizaron censos visuales en el arrecife coralino de Akumal, Quintana Roo, México. Con el índice de Importancia Relativa Total (IRT) se obtuvieron 12 especies típicas pertenecientes a cinco familias (Teleostei: Acanthuridae, Haemulidae, Labridae, Pomacentridae, Scaridae), con 20, 457 individuos, representando el 65.16 % del número total de individuos reportados para el sistema. Estas especies son: *Abudefduf saxatilis*, *Acanthurus bahianus*, *A. chirurgus*, *A. coeruleus*, *Haemulon flavolineatum*, *H. sciurus*, *Halichoeres radiatus*, *Microspathodon chrysurus*, *Scarus taeniopterus*, *Sparisoma viride*, *Stegastes adustus* y *Thalassoma bifasciatum*. Cada una de las especies típicas presentan patrones de distribución y abundancia propios, sin embargo en conjunto y de manera anual, presentan pautas correspondientes principalmente a los hábitats de la laguna, parte anterior arrecifal y zona de Yal-Kú. Existen diferencias entre las abundancias de las especies típicas durante las tres épocas climáticas, lo cual indica un cambio estacional y espacial dependiendo de la época del año, siendo en nortes donde la distribución y abundancia es más homogénea en todo el arrecife. Las especies de la familia Acanthuridae presentan las mayores abundancias en la parte posterior y frente arrecifal, siendo *A. chirurgus* la especie más abundante de todas las especies típicas con 2,664 individuos. El factor más importante que influye en la distribución y abundancia de las especies de peces arrecifales coralinos típicos es la cobertura coralina.

ABSTRACT

The high diversity of coral reef fishes makes complex the problem of its evaluation at ecosystem level. One of the strategies that allow knowing these communities to a scale of smaller complexity is to detect to the typical species whose ecological parameters (*i. e.* density, appearance frequency, distribution) they prevail in the structure of the community. The analysis of typical populations makes more accessible the interpretation of the ecology of the system. Understanding like these species work it allows analyzing the behavior of other species, establishing the main patterns of the community in relation to the environmental characteristics, their seasonal variations and the interactions fishes/habitat. They were carried out visual censuses in the coral reef of Akumal, Quintana Roo, Mexico. With the index of Total Relative Importance (TRI) 12 typical species belonging to five families were obtained (Teleostei: Acanthuridae, Haemulidae, Labridae, Pomacentridae, Scaridae), with 20,457 individuals, representing 65.16% of the total number of individuals reported for the system. These species are: *Abudefduf saxatillis*, *Acanthurus bahianus*, *A. chirurgus*, *A. coeruleus*, *Haemulon flavolineatum*, *H. sciurus*, *Halichoeres radiatus*, *Microspathodon chrysurus*, *Scarus taeniopterus*, *Sparisoma viride*, *Stegastes adustus* and *Thalassoma bifasciatum*. Each one of the typical species presents distribution patterns and own abundance, however on the whole and in an annual way, they present corresponding rules mainly to the habitats of the lagoon, fore reef slope and area of Yal-Kú. Differences exist among the abundances of the typical species during the three climatic times, that which indicates a seasonal and space change depending on the time of the year, being in north where the distribution and abundance is more homogeneous in the whole reef. The species of the family Acanthuridae presents the biggest abundances in the reef flat and reef slope, being *A. chirurgus* the most abundant species in all the typical species with 2,664 individuals. The most important factor that influences in the distribution and abundance of the typical species of coral reef fishes is the coralline covering.

INTRODUCCIÓN

Los arrecifes de coral constituyen uno de los ecosistemas más diversos y complejos del planeta, son poseedores de una gran variedad de hábitats con procesos biológicos y ecológicos altamente complejos (Sale, 1991, 2002). Desde el punto de vista antropocéntrico, los arrecifes coralinos son muy valiosos debido a su alta productividad biológica y a su real y potencial aspecto económico de carácter múltiple como: atractivo turístico, elaboración de artesanías, productos de uso farmacéutico y como fuente importante de pesquerías. Por lo anterior, el ecosistema arrecifal es considerado como uno de los sistemas biológicos de mayor relevancia a nivel nacional y mundial (Guzmán y Cortés, 1993; Díaz-Ruiz *et al.*, 2005).

En el estado de Quintana Roo, los arrecifes cubren una extensión aproximada de 650 km, constituyendo al Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM) en México y la segunda barrera arrecifal coralina más importante a nivel mundial. Posee variados sistemas biológicos y gran variedad de recursos pesqueros. Estas características lo colocan en una situación prioritaria de evaluación ecológica del sistema y sus recursos. Además, constituye un recurso de enorme valor para el turismo, actividad que representa un elevado riesgo ambiental. No obstante, se cuenta todavía con áreas en el centro y sur del estado donde el turismo es incipiente, aunque se ha incrementado rápidamente con el desarrollo del corredor turístico Cancún-Tulum y Riviera Maya. Para detectar el impacto de estos factores sobre los arrecifes se

requieren estudios de monitoreo ecológico que evalúen la condición del ecosistema a través del tiempo para establecer medidas de manejo y conservación.

En este contexto, se han realizado proyectos de investigación enfocados a determinar la estructura y función de las comunidades de peces, estos estudios han caracterizado y evaluado los recursos pesqueros de los sistemas arrecifales de Puerto Morelos, Akumal y Cozumel, Quintana Roo, integrando aspectos bioecológicos y ambientales, así como determinando y precisando aspectos de funcionalidad de la comunidad íctica del Caribe Mexicano (Díaz-Ruiz y Aguirre-León, 1993; Díaz-Ruiz *et al.*, 1995, 2002, 2005).

En climas templados las especies de peces más importantes en cuanto a su abundancia numérica se definen como especies dominantes. En contraste con latitudes tropicales y subtropicales, en donde la situación es más compleja debido a la alta equitatividad y alto número de especies que conducen a interacciones muy complejas, por lo que las especies son definidas como típicas. En las áreas costeras de latitudes bajas, el concepto de especies típicas y dominantes incluye un número de características que constan de: 1) abundancia numérica, 2) abundancia en biomasa, 3) amplia distribución en el sistema y 4) alta frecuencia de captura (Lara-Domínguez, 2001).

En general, cuando se incrementa la diversidad en algún área dada, se incrementa la abundancia de las especies y por lo tanto no es tan evidente la

dominancia de algunas especies respecto a las otras (Magurran, 1988). Las comunidades de peces en áreas tropicales y subtropicales a menudo tienen alta diversidad de especies, con interacciones intra e interespecíficas muy complejas. Estas relaciones entre las diferentes especies de peces y el ambiente en regiones tropicales, es a menudo aguda y frecuentemente es difícil detectar cambios y determinar precisamente la naturaleza de las relaciones. Existe una clasificación basada en el criterio de McHugh (1967) y modificada por Yañez-Arancibia y Nuget (1977) que únicamente toma en cuenta la frecuencia de aparición de las especies y se definen como: a) ocasional (1-30%), b) estacional o cíclica (31-70% y c) residente o típica (71-100%) (Lara-Domínguez, 2001).

De esta manera, en latitudes tropicales las especies de peces que determinan gran parte del flujo de energía del ecosistema donde habitan y mantienen una alta biomasa a través del tiempo son las especies típicas (Krebs, 2001). En este sentido, el estudio de las variaciones de la abundancia de las especies típicas en un sistema arrecifal coralino, permite abordar algunos aspectos relativos de la magnitud de utilización del sistema arrecifal en relación a sus ciclos de vida. Para comprender esto, es necesario obtener información sobre la estructura poblacional de las especies de peces típicas, el ambiente arrecifal coralino y las relaciones entre estas.

La estructura poblacional de las especies de peces arrecifales típicas, consiste en patrones de distribución y abundancia en un hábitat definido, incluyendo la descripción de tales patrones y su cambio a través del tiempo. Todas las especies

presentan dos etapas en su ciclo de vida; un estado larval pelágico que puede durar días o semanas y durante el cual recorren grandes distancias; y un estado residente arrecifal, en donde los individuos están relativamente ligados al sitio y estrechamente asociados al sustrato (Sale, 1991). Su estructura poblacional se compone de juveniles y adultos, presentando en ocasiones marcadas diferencias entre sus dos etapas, es decir, en sus patrones de coloración, lo que los hace fácilmente distinguibles (Humann, 1997). El establecimiento larval pelágico de los peces arrecifales antes de pasar a la etapa juvenil es variable, ya que algunos se establecen en otros hábitats diferentes al arrecife de coral, como por ejemplo, estuarios (Sale, 2002). La importancia de estos sitios como áreas de protección, reproducción y/o crianza es variable, ya que depende de diferentes factores como: 1) la región geográfica y 2) características bióticas (*i. e.* número de individuos en etapa larval, complejidad estructural, depredación, competencia y disponibilidad de alimento), 3) abióticas (*i. e.* corrientes, profundidad, salinidad y oxígeno) y 4) geomorfología del área (*i. e.* tamaño, forma del arrecife, fragmentación y conectividad con otras áreas). El hábitat importante en la región del Caribe son los pastos marinos, los cuales presentan una alta productividad primaria y secundaria, soportando valores altos de abundancia y diversidad de peces e invertebrados (Beck *et al.*, 2001).

El arrecife de coral es un ambiente con alta heterogeneidad espacial independientemente de la escala a la que se observe (desde metros hasta

kilómetros). La mayoría de los arrecifes se pueden dividir para fines prácticos en arrecife anterior, cresta arrecifal y arrecife posterior con exposición al oleaje y profundidades características de cada zona. Las áreas posteriores de algunos sistemas arrecifales son rápidamente distinguibles por el desarrollo de sistemas lagunares (Williams, 1991). Los arrecifes coralinos requieren para su óptimo desarrollo aguas someras, cálidas, claras y con escasos nutrientes. En el sistema arrecifal se observa una alta diversificación entre hábitats de evidente variabilidad ambiental, la cual está asociada a una respuesta de las comunidades coralinas a gradientes de profundidad y grado de exposición a las corrientes entre otros factores. Las mareas y los vientos interactúan con la formación arrecifal, los cuales generan sistemas de corrientes que favorecen la concentración de organismos planctónicos, reteniendo nutrientes y material alimenticio particulado. Esta acumulación de productos, aunado al crecimiento y erosión de los corales, modifican significativamente los patrones de estructura del hábitat afectando a las poblaciones de peces (Núñez-Lara, 1998).

Las relaciones entre la ictiofauna y el hábitat arrecifal conllevan un gran número de procesos y factores bióticos, abióticos e históricos (Lecchini *et al.*, 2003). En general, estas relaciones se pueden clasificar en tres: 1) la relación directa entre la estructura arrecifal y zonas de refugio para las especies como sitio de actividad predominante, 2) la interacción alimenticia y 3) la influencia de parámetros físico-ambientales sobre los procesos de distribución y abundancia.

ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

En la región del Caribe Mexicano existen importantes estudios que tienen relación con la ictiofauna arrecifal, ya que en la última década, ha aumentado el interés por la ecología de peces de arrecifes coralinos, en especial por estudios sobre aspectos que determinan la estructura de la comunidad. A pesar de que los estudios para la región son escasos, ellos mostraron avances importantes y como ejemplo están los trabajos de Fenner (1991), Díaz-Ruiz y Aguirre-León (1991a, b, 1993), Díaz-Ruiz *et al.* (1996, 2000a, b, 2002), Garza-Pérez *et al.* (2004), Cano-Quiroga (2005).

En otras regiones existen estudios que han abordado diversos aspectos de su biología, ecología, taxonomía, etología, relaciones abióticas, relaciones filéticas y aspectos económicos: Así Sale y Douglas (1984) analizan la variación en la estructura de la comunidad de peces arrecifales y su relación con la estructura coralina. Nagelkerken *et al.* (2000) estudian la estructura de la comunidad de peces en diferentes ambientes arrecifales como manglares y pastos marinos. Randall (1983) estudia aspectos taxonómicos y ecológicos. Garpe y Öhman (2003) relacionan la comunidad de peces con variables ambientales. Watson y Munro (2004) evalúan el impacto que causa la sobre-explotación en el establecimiento y reclutamiento de peces arrecifales coralinos. Ashworth y Ormond (2005) analizan los factores que determinan la abundancia y la emigración de los peces coralinos hacia áreas protegidas. Nagelkerken y Van der Velde (2004) definen la importancia de los manglares como áreas de utilización de la comunidad de peces arrecifales.

Aunque para sistemas arrecifales coralinos no hay muchos estudios sobre especies típicas, se han realizado estudios ecológicos con énfasis en especies de peces típicas en ciclos nictímeros y estacionales en diferentes sistemas tropicales de México. Están los de Sánchez-Gil *et al.* (1981) quienes caracterizaron las poblaciones y especies típicas de la comunidad de peces de la plataforma continental frente a la laguna de Términos, así como las áreas de distribución, diversidad y abundancia. Yáñez-Arancibia *et al.* (1982) analizaron la variación nictímera de las asociaciones de peces de Boca de Puerto Real, encontrando relación entre los parámetros ambientales y el comportamiento trófico. Yáñez-Arancibia y Lara-Domínguez (1983) estudiaron las variaciones nictímeras de la comunidad de peces en Boca de Estero Pargo, considerando las interacciones de ésta con la variabilidad ambiental. Álvares-Rubio *et al.* (1990) determinaron la amplitud y traslape de nicho de la comunidad de las especies dominantes y su relación con la diversidad del sistema lagunar Teacapan-Agua Brava. Castillo-Rivera (1995) determinó la importancia relativa total (IIR) de cada especie de la comunidad íctica de la laguna de Pueblo Viejo y su relación con el comportamiento ambiental. Pérez-Velázquez (2000) analizó la variación de la abundancia de las especies de peces dominantes y sus relaciones con los parámetros físicos y biológicos en escalas nictímeras del sistema Pom-Atasta. Lara-Domínguez (2001) determina las especies de peces típicas y dominantes, así como los factores ambientales que regulan las estrategias biológicas de los peces en la Laguna de Términos.

De manera más particular, existen escasos estudios ictiológicos enfocados a especies típicas en sistemas arrecifales. Sin embargo, Álvarez-Guillén *et al.* (1986) determinó la composición taxonómica íctica en praderas de *Thalassia testudinum* y *Halodule sp.*, así como las especies típicas de la laguna arrecifal de Puerto Morelos, durante un ciclo de 24 horas. Villarreal-Cavazos *et al.* (2000) elaboró una lista sistemática de especies de peces de Cabo Pulmo y determinaron las especies típicas. Por otra parte, González-Sansón y Aguilar-Betancourt (2003) analizaron las variaciones espaciales y temporales de la abundancia de las especies típicas de peces de Cuba.

En México existen pocos trabajos sobre especies típicas de peces en arrecifes de coral y es aún más limitado el número de trabajos que han utilizado técnicas estadísticas modernas para el análisis de correlaciones canónicas de las especies típicas con los factores físico-ambientales (Díaz-Ruiz, 2005).

La alta diversidad de la ictiofauna en sistemas coralinos hace complejo el problema de su evaluación a nivel de ecosistema. Una de las estrategias que permite conocer estas comunidades a una escala de menor complejidad, es detectar aquellas especies cuyos parámetros ecológicos (*i. e.* abundancia, frecuencia de aparición, distribución) predominan en la estructura de la comunidad. El análisis particular de las especies de peces típicas hace más accesible la interpretación de la ecología del sistema. El comprender como funcionan estas especies permite analizar el comportamiento de otras afines, estableciendo los principales patrones de la

comunidad en relación a las características ambientales, sus variaciones estacionales y las interacciones peces/hábitat (Díaz-Ruiz *et al.*, 2000^a, 2002, 2005).

Lo anterior, destaca la importancia y justifica el presente proyecto para desarrollar estudios de recursos pesqueros coralinos en un área de alta diversidad de especies, de un alto potencial pesquero y gran desarrollo turístico como lo es la región costera del Caribe Mexicano.

OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar la variación de la distribución y abundancia de las poblaciones de peces típicas del Gran Cinturón de Arrecifes del Atlántico Occidental, localidad Akumal, Quintana Roo, México y su relación con los parámetros ambientales en escala espacial y temporal, identificando aquellos factores ecológicos que determinan la utilización del hábitat.

Objetivos particulares

1. Describir la variabilidad ambiental del sistema arrecifal de Akumal en escala espacio-temporal.
 2. Definir las especies típicas del sistema arrecifal de Akumal, Caribe Mexicano.
-

3. A través de la literatura existente realizar diagnosis taxonómicas de las especies típicas, aportando características morfológicas de las especies del área de estudio.
4. Precisar y analizar los patrones de distribución de las especies de peces típicas en el sistema arrecifal en escalas espacio-temporales.
5. Determinar los patrones de abundancia analizando la relación entre las especies de peces típicas y las variables ambientales.
6. Precisar las relaciones peces-hábitat.

Hipótesis

Se ha planteado que los parámetros ambientales son factores que en su conjunto determinan la distribución y abundancia de las especies de peces típicas en los sistemas arrecifales coralinos. El análisis de las relaciones entre los parámetros físico-químicos y ecológicos de las poblaciones de peces más abundantes permitirá probar si cada especie típica presenta distintos patrones de utilización del sistema coralino de Akumal, relacionados con la estructura física y biótica del hábitat.

ÁREA DE ESTUDIO

Características generales de la región del Caribe Mexicano

La región del Caribe Mexicano presenta un relieve muy escaso y la zona costera se caracteriza por la ausencia de ríos superficiales, debido a la naturaleza Kárstica del terreno. La acumulación de aguas pluviales en la matriz rocosa de la península, ocasiona una diferencia de niveles hidrostáticos que determina un flujo subterráneo de tierra al mar (INE, 1998). El promedio anual de descarga de agua subterránea en la Península de Yucatán, por encima de los 20° de Latitud Norte, se ha estimado en 8.6 millones de m³ por km de costa al año (INE, 2000).

El clima en la región es cálido, subhúmedo con temporadas de lluvia marcadas; corresponde a un clima intermedio entre los tipos Aw1(x') (i') g y el Aw2'' (i) (García, 1988). La temperatura del aire promedio anual es de 26.3 °C. La temperatura del aire más alta que se ha registrado fue de 34.5 °C en el verano y la mínima de 12.5 °C en el invierno (Merino y Otero, 1991). Por su ubicación, el área de estudio no presenta marcada variación estacional. Sin embargo, se reconocen tres periodos climáticos con relación a la dirección y velocidad de las corrientes, intensidad del viento, temperatura ambiental, y precipitación pluvial: 1) época de secas (febrero-mayo), 2) época de lluvias (junio a septiembre) y 3) época de "nortes" con lluvias ocasionales de octubre (enero-febrero) (Díaz-Ruiz *et al.*, 2000a, b, 2002).

El ramal de la corriente de Yucatán es la corriente oceánica principal que fluye paralela al borde de la plataforma continental en dirección al norte, con velocidades máximas de 4 a 5 nudos, cambiando con las temporadas climáticas. Asimismo, se sugiere un sistema de contracorrientes profundo a lo largo del talud, que provoca invasiones de agua profunda en el sistema arrecifal. La circulación del agua presenta un flujo neto de sur a norte con una dominancia en dirección norte-noroeste y sur-sureste. En la laguna arrecifal la circulación es principalmente paralela a la costa, con velocidades de aproximadamente 10 cm/s, la cual, puede alcanzar valores superiores a los 50 cm/s en las “bocas” de la barrera arrecifal o entre ésta y la playa. El régimen de mareas en el área corresponde al tipo mixto semidiurno, de baja amplitud (promedio entre 10 y 20 cm). Las olas son generadas por los vientos alisios, y durante la época de nortes el conjunto de vientos N-NO y SE genera un oleaje considerable. En las lagunas arrecifales las olas son bajas ya que la barrera arrecifal funciona como un eficiente disipador de la energía del oleaje; se ha llegado a medir una altura de 0.14 m en las zonas de playa y un periodo de aproximadamente 2 segundos (INE, 2000).

El área de estudio presenta lluvias durante todo el año, siendo más abundantes en el verano. Merino y Otero (1991) señalan valores de humedad relativa que oscilan entre 81 y 88% (promedio anual, 84%). Los valores más altos de humedad se registraron de julio a octubre, lo cual coincide con la época de lluvias; mientras que los valores medios más bajos de humedad se presentan en los meses de secas, principalmente marzo, abril y mayo. Los valores de evaporación mensual

oscilan entre 103 y 178 mm (promedio anual, 146 mm), manteniéndose relativamente constantes a lo largo del año. La evaporación mayor se da entre los meses de abril y agosto.

La región del Caribe Mexicano ha sido descrita de manera más amplia por Jordan (1979), Kjerfve (1981), Merino (1986), Chávez e Hidalgo (1988), García (1988), Merino y Otero (1991), Muñoz-Chagín y De la Cruz-Agüero (1993), Díaz-Ruiz *et al.* (1995, 2000a, b, 2002) y Garza-Pérez *et al.* (2004).

AKUMAL

Descripción del área

El sistema arrecifal de Akumal se localiza en la costa occidental del Océano Atlántico en el Caribe Mexicano entre los paralelos 20° 24' latitud norte y los meridianos 87° 19' longitud oeste (Fig. 1). Pertenece al municipio de Solidaridad en el estado de Quintana Roo y forma parte de la barrera arrecifal denominada "Gran Cinturón de Arrecifes del Atlántico Occidental", formando al Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM) en México, la cual es considerada como la segunda barrera más grande del mundo. Se inicia en Isla Contoy, Quintana Roo y se conecta al sur con la barrera arrecifal de Belice y Honduras. Tiene una longitud aproximada de 7 Km cubriendo un área de 33.25 Km².

Perfil batimétrico y zonación de hábitats del sistema arrecifal

La formación arrecifal de Akumal es de tipo barrera, se caracteriza por tener un desarrollo variable, con una división de seis zonas que está basada en los rasgos fisiográficos y bióticos más evidentes (Fig. 2), estas son: I) ***Línea de costa***, II) ***Laguna Arrecifal***, III) ***Arrecife Posterior***, IV) ***Cresta Arrecifal o Rompiente Arrecifal***, V) ***Arrecife Frontal*** y VI) ***Plataforma Arenosa***. El sistema arrecifal de Akumal está constituido por tres áreas arrecifales, las cuales varían en tamaño, distancia de la línea de costa (800-3500 m), complejidad coralina, vientos predominantes (E-SE) y circulación del agua (flujo neto S-N) (Fig. 1). Las áreas son: 1) ***Bahía de Akumal***, la cual cuenta con una laguna asociada de 4 Km de longitud aproximadamente, de 100 a 800 m de la línea de costa a la cresta del arrecife y una profundidad promedio de 3.5 m. Existen áreas cubiertas con grandes extensiones de pastos marinos (*Thalassia testudinum* Koenig), los cuales presentan importantes parches de coral aislados; la parte posterior del arrecife está totalmente sumergida a una profundidad de 2 a 3 m, mientras que la cresta es muy somera (0.5 a 1 m); la parte frontal y la pendiente arrecifal están formadas por estructuras onduladas con áreas elevadas de sustrato calcáreo cubiertas principalmente por grupos mixtos de corales alcionarios y escleractinios, así como, áreas bajas formando canales de arena. Presenta arena media-gruesa, de mal clasificada a bien clasificada, simétricos hasta muy simétricos hacia gruesos y mesocúrticos o leptocúrticos. 2) ***Bahía Media Luna***, posee una laguna de 3 Km de longitud, ancho de 500 a 3000 m y una profundidad promedio de 4 m., presenta sustrato arenoso-rocoso y parches de pas-

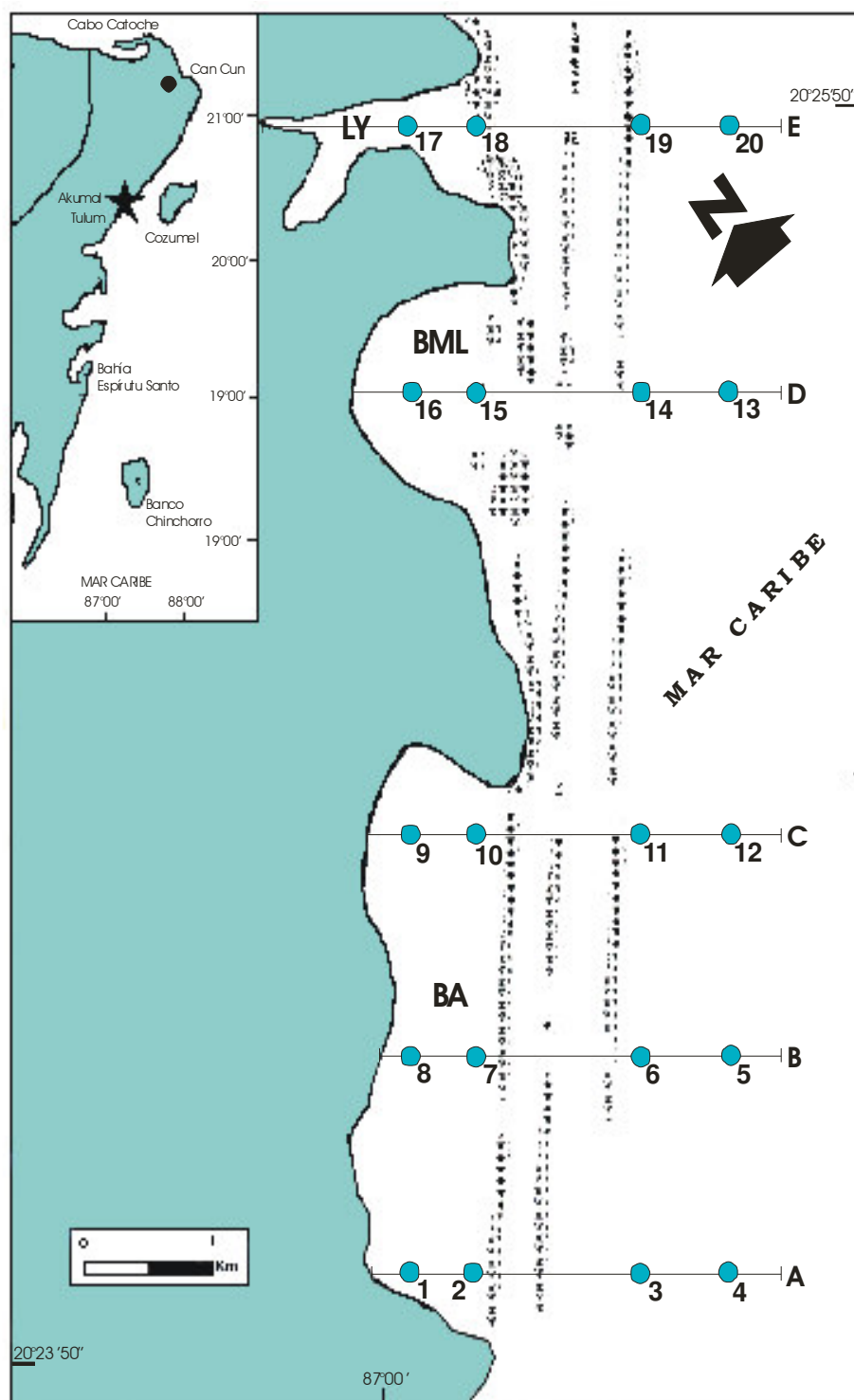


Figura 1. Ubicación geográfica, características fisiográficas y estaciones de muestreo, Bahía de Akumal (BA), Bahía Media (BML) y Laguna de Yal-kú (LY) del Sistema Arrecifal Coralino de Akumal, Quintana Roo.

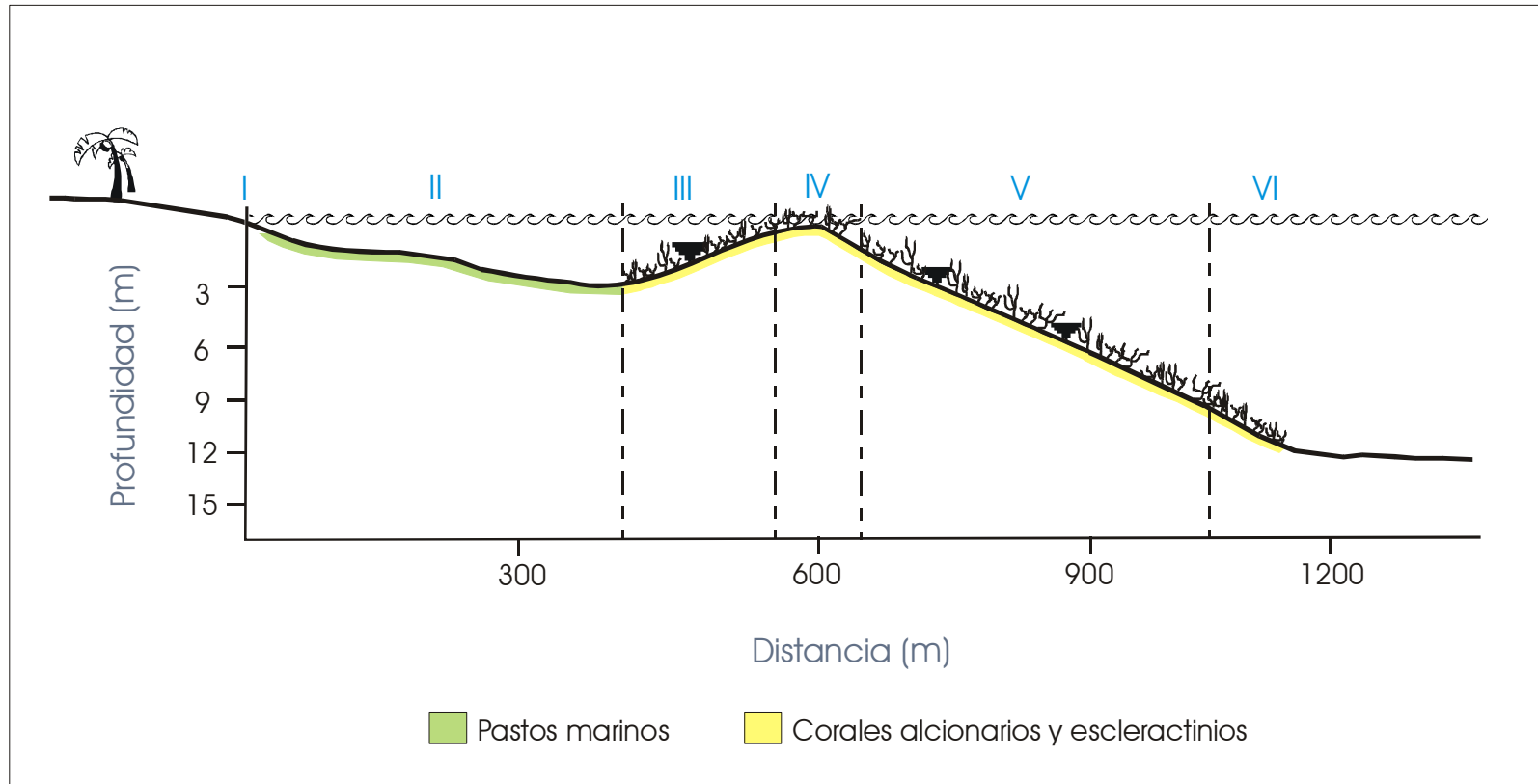


Figura 2. Perfil del Sistema Arrecifal de Akumal, Quintana Roo. I. Línea de costa; II. Laguna Arrecifal; III. Arrecife Posterior; IV. Cresta Arrecifal; V. Arrecife Frontal; VI. Plataforma Arenosa (Modificado de Alva-Basurto, 2004; Díaz-Ruiz *et al.*, 2005).

tos marinos (*T. testudinum* y *Syringodium filiforme* Kuetzin), macroalgas y gorgonias. El arrecife posterior, la cresta, el frente y la pendiente arrecifal, presentan ambientes que varían desde extensas zonas cubiertas de corales escleractinios a zonas de algas, gorgonias y esponjas incrustantes. Predominan arenas gruesas, moderadamente clasificadas, asimétricas y mesocúrticas. 3) **Laguna Yal-Kú**, es la más pequeña, teniendo un importante aporte de agua dulce con una longitud de 800 m aproximadamente, presenta un sustrato arenoso y áreas rocosas cubiertas de algas con pequeños parches de pastos marinos a una profundidad de 0.8 m. El arrecife posterior está cubierto de corales masivos alcionarios y escleractinios a una profundidad promedio de 3 m; la cresta es más somera, la parte frontal y pendiente arrecifal son suaves, las cuales están cubiertas con una gran variedad de colonias mixtas de coral, entre las que destacan *Acropora palmata* Lamarck, *Agaricia agaricites* Linnaeus, *Porites porites* Pallas y *Montastrea annularis* Ellis & Solander. Varían las arenas desde medias a muy gruesas, de bien clasificadas a mal clasificadas, asimétricas hacia gruesas y platicúrticas (Díaz-Ruiz *et al.*, 2000b, 2002, 2005).

Vegetación marina

La diversidad algal está compuesta por 106 especies, de las cuales el 29 % corresponden a la división Chlorophyta, un 2 % a Phaeophyta y para la división Rhodophyta el 59% (Sentíes y Callejas, 2002). Se considera un sistema con una diversidad de media a alta y con componentes netamente tropicales, con una

abundancia mayor de algas rojas, una abundancia intermedia de verdes y finalmente las pardas. Dentro de las especies más representativas y que resalta su presencia durante todo el año se encuentran: *Caulerpa verticillata* Agardh, *Stipopodium zonale* Lamouroux, *Hydrolithon farinosum* Lamouroux, *Jania adhaerens* Lamouroux, *Jania capillacea* Harvey, *Gelidiopsis intricata* Agardh, *Centroceras clavulatum* Agardh, *Ceramium flaccidum* Kützing, *Herposiphonia tenella* Agardh, y *Laurencia intricata* Lamouroux (Díaz-Ruiz *et al.*, 2002, Sentíes y Callejas, 2002).

Fauna marina

Se tienen registrados 3,293 organismos bentónicos, de los cuales 1,832 corresponden a la laguna de Yal-Kú; 819 a la Bahía Media Luna y 642 para la Bahía de Akumal. Los organismos se encuentran distribuidos principalmente en los grupos Porifera, Cnidaria, Annelida, Sipunculida, Mollusca, Crustacea, Echinodermata y Pisces. Sin embargo, se observa una mayor dominancia del grupo de anélidos, moluscos y crustáceas, en los tres sistemas y durante las tres épocas climáticas (Díaz-Ruiz, 2002). Respecto a peces, en el sistema arrecifal de Akumal se han determinado 2 Clases, 2 Divisiones, 5 Superórdenes, 11 Órdenes, 42 Familias y 132 Especies de peces. Las Familias con mayor número de individuos son: Pomacentridae, Labridae, Acanthuridae, Haemulidae y Scaridae. Las especies que tienen una alta densidad son: *Abudefduf saxatilis* Linnaeus, *Acanthurus coeruleus* Bloch & Schneider, *Acanthurus bahianus* Castelnau, *Acanthurus chirurgus* Bloch, *Chromis cyanea* Poey, *Haemulon flavolineatum* Desmarest, *Ocyurus chrysurus*

Bloch, *Sparisoma aurofrenatum* Valenciennes, *Sparisoma viride* Bonnaterre, *Stegastes adustus* Troschel & Müller y *Thalassoma bifasciatum* Bloch. Entre los peces que presentan amplia distribución se encuentran los holocéntridos (peces ardilla), chaetodóntidos (peces mariposa), lábridos (peces payaso), escáridos (peces loras) y acantúridos (peces cirujanos) (Díaz-Ruiz *et al.*, 2002, 2005).

MÉTODOS

Actividades de campo

En la región de Akumal se realizaron 6 muestreos bimestrales durante el 2001 en los meses de febrero, abril, junio, agosto, octubre y diciembre en 20 estaciones previamente establecidas en este sistema. Las estaciones de muestreo se ubican en transectos batimétricos perpendiculares (A-E) a la línea de costa, desde la zona litoral hasta la zona arrecifal (Fig. 1).

Los censos visuales de peces se realizaron utilizando el método de Sale y Sharp (1983) modificado, en transectos lineales de 100 m de largo por 4 m de ancho (400 m²). Los 100 m del transecto es completado en un tiempo promedio de 20 minutos manteniendo un rumbo continuo, siguiendo las estructuras coralinas lo más cerca posible para identificación de los individuos pequeños y crípticos. Se empleo buceo SCUBA en los sitios profundos (> 3 m) y buceo libre en los sitios someros. Los

observadores fuimos previamente entrenados para la identificación rápida de las especies a través de transparencias y tablas especializadas para ello, así como pruebas prácticas bajo el agua antes del inicio del estudio. Las observaciones sobre cada transecto se apoyaron con el uso de video y fotografía submarina.

Durante cada muestreo se tomaron registros de pH, salinidad, oxígeno disuelto, temperatura, transparencia y profundidad de la columna de agua, para esto, se utilizó un medidor de calidad de agua YSI-3800 calibrado con las técnicas de APHA. La transparencia se midió con un disco de Secchi y la profundidad con un profundímetro digital. También, se realizaron observaciones del tipo de sustrato, vegetación sumergida (pastos marinos, macroalgas), gorgonáceos y formas de crecimiento del coral (masiva, racemosa e incrustante).

Adicionalmente se realizaron dos salidas, una en la época de secas (abril, 2005) y otra en la época de nortes (diciembre, 2005), para la obtención de información complementaria sobre aspectos ambientales del sistema (*i.e.* tipo de sustrato, coberturas coralinas, algales y de pastos) y de las especies de peces (*i. e.* taxonómicos), con la finalidad de corroborar algunos datos del muestreo bimestral del 2001.

Actividades de Laboratorio

Composición Taxonómica

Con los datos de los censos visuales, videos y especímenes de la colección, la identificación taxonómica de las especies de peces, se complemento empleando literatura básica y específica del Mar Caribe, principalmente los trabajos de Fischer (1978), Randall (1983), Böhlke y Chaplin (1993), Cervigón (1991-1994), Humann (1997), Carpenter (2002), Froese y Pauly (2006), entre otros.

Análisis de las Variables Ambientales

Con la finalidad de clasificar la variabilidad ambiental del sistema arrecifal de Akumal, los registros de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y profundidad para cada estación de muestreo se sometieron a un análisis de clasificación. Para esto, se realizó por medio del método de varianza mínima, usando la raíz cuadrada de la distancia euclidiana como índice de disimilitud. Para tal fin, se utilizó el programa estadístico MVSP versión 3.12b.

Análisis Ecológico de las Poblaciones

Especies Típicas

La jerarquización de la importancia de especies se realizó a través de la aplicación del índice de Importancia Relativa Total (IRT), así como la Frecuencia de aparición de cada especie en el sistema.

La evaluación de la importancia de una especie, debida a la fracción de nicho espacial ocupado, queda considerada dentro del Índice de Amplitud de Nicho. Considerando lo anterior, la Amplitud de Nicho Espacial (ANE) se determinó con el Índice de Shannon-Wiener, de acuerdo a los criterios de Levins (Colwell y Futuyma, 1971; Krebs, 1999):

$$ANE = -\sum_{i=1}^r p_i * \log_{10} p_i$$

donde:

ANE = Amplitud de Nicho Espacial de cada especie.

r = Número total de recursos.

P_i = Proporción en que la especie utiliza el i-ésimo recurso $\left(\frac{n_i}{N}\right)$.

n_i = Número de recursos de la i-ésima especie.

N = Número total de recursos.

De acuerdo al índice de Mulligan y Snelson (1983) y modificado por Castillo-Rivera (1995) las estaciones de muestreo se consideraron como recursos y la Importancia Relativa en Número (IRN) de cada especie, se determinó de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$IRN = \frac{p_i}{p} * 100$$

donde:

IRN = Importancia Relativa en Número de cada especie.

P_i = Número total de la i-ésima especie.

r = Número total de todas las especies.

Con base en lo anterior, la Importancia Relativa de cada especie se determinó con la Amplitud de Nicho Espacial y los valores de Importancia Relativa en Número en función de la ecuación:

$$IRT = ANE * IRN$$

donde:

IRT = Importancia Relativa Total.

ANE = Importancia Relativa en Número de cada especie.

IRN = Amplitud de Nicho espacial.

Abundancia y Distribución

Se determinó la abundancia de las especies de peces típicas en términos de densidad (ind/m^2) (Brower y Zar, 1997) y se realizaron mapas de distribución con base en la abundancia que presentó cada una de las especies en cada estación de muestreo. Para evaluar cambios significativos en la abundancia, tanto espaciales (*i. e.* entre estaciones y entre áreas) como temporales (*i. e.* entre meses y entre épocas climáticas), se utilizó análisis estadístico univariado, el cuál compara datos entre dos o más grupos. Para comprobar los supuestos de normalidad y homoscedasticidad se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov y la prueba modificada de Levene, respectivamente. Si se cumplían estos supuestos, se aplicó un análisis de varianza de una vía (ANOVA) (F), con un intervalo de confianza de 95% para las medias. A su

vez, se realizó una prueba de Tukey-Kramer (comparaciones múltiples) para determinar entre que medias existen diferencias significativas. De no cumplirse con los supuestos antes mencionados, los datos se transformaron logarítmicamente ($\log_{10}(x + 1)$) para reducir la variación resultado de los números pequeños. Si aún no se satisfacían estos supuestos, se optó por utilizar el análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis (H) (Sokal y Rohlf, 1981), utilizando la prueba de comparaciones múltiples de Kruskal-Wallis-Z. Para tales fines, se utilizó el programa estadístico NCSS versión 2001. Para evaluar el comportamiento en conjunto de las especies típicas en cuanto a su distribución anual y estacional en el sistema arrecifal, se aplicó un análisis de Componentes Principales (centrado y estandarizado) por medio del programa estadístico MVSP (versión 3.12b).

Abundancia y Variación Ambiental

Para evaluar las relaciones entre la abundancia de las especies de peces típicas y las variables ambientales, se utilizó la técnica de Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) (ter Braak, 1986, ter Braak y Verdonschot, 1995). La cual, está diseñada para explicar las relaciones entre conjuntos biológicos de especies y su ambiente. Se empleó el programa estadístico MVSP (versión 3.12b) para relacionar la variación de la abundancia de las especies típicas a las variables ambientales y para la validación del análisis se usó el programa estadístico NCSS (versión 2001).

RESULTADOS

Análisis de las Variables Ambientales

Durante las épocas climáticas de la región, las variables ambientales registraron sus promedios más bajos en la estación de lluvias, mientras que los valores más altos fueron similares en secas y nortes (Tabla 1). El análisis de varianza aplicado a la salinidad, temperatura, oxígeno y profundidad presentó diferencias significativas entre las tres épocas climáticas ($P < 0.05$) (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis estadístico de los parámetros fisicoquímicos, con los promedios para cada una de las épocas climáticas del Sistema Arrecifal de Akumal, Quintana Roo.

Parámetro	Secas	Lluvias	Nortes	G.L.	Estadístico	Significancia
Salinidad (ups)	35.63	22.46	35.28	2	H = 38.189	P = 0.001
Temperatura (°C)	26.70	18.62	28.09	2	H = 28.532	P = 0.001
O ₂ (mg/l)	6.00	2.95	3.02	2	H = 40.432	P = 0.001
Profundidad (m)	4.39	2.70	5.26	2	H = 6.755	P = 0.034

El análisis de la variación anual de los parámetros de salinidad (UPS), temperatura (°C), profundidad (m) y oxígeno disuelto (mg/l) de la columna de agua del Sistema Arrecifal de Akumal, muestran un comportamiento fluctuante durante el año. La salinidad promedio presenta un pulso máximo en octubre con 35.9 UPS y un pico mínimo en junio con 31.7 UPS. El valor promedio máximo de temperatura se observa en el mes de octubre con 29.5° C y el mínimo valor en el mes de febrero con 26.3° C. Con respecto al comportamiento del oxígeno disuelto y la profundidad se observan fluctuaciones a lo largo del año con valores promedios máximos en el mes

de febrero con 6.3 mg/l y en octubre con 5.5 m, respectivamente. Los valores mínimos se observan en el mes de junio con una profundidad de 2.0 m, y en diciembre con 3.0 mg/l de oxígeno disuelto. Lo anterior se observa en la Tabla 2 y en la Figura 3.

Tabla 2. Valores promedios mensuales de los parámetros fisicoquímicos del Sistema Arrecifal de Akumal, Quintana Roo.

Mes	Salinidad (ups)	Temperatura (°C)	O ₂ (mg/l)	Profundidad (m)
Febrero	35.7	26.3	6.3	4.6
Abril	35.5	27.1	5.7	4.3
Junio	31.7	27.6	4.9	2.0
Agosto	35.3	29.0	4.4	4.8
Octubre	35.9	29.5	3.1	5.5
Diciembre	34.6	26.7	3.0	5.1

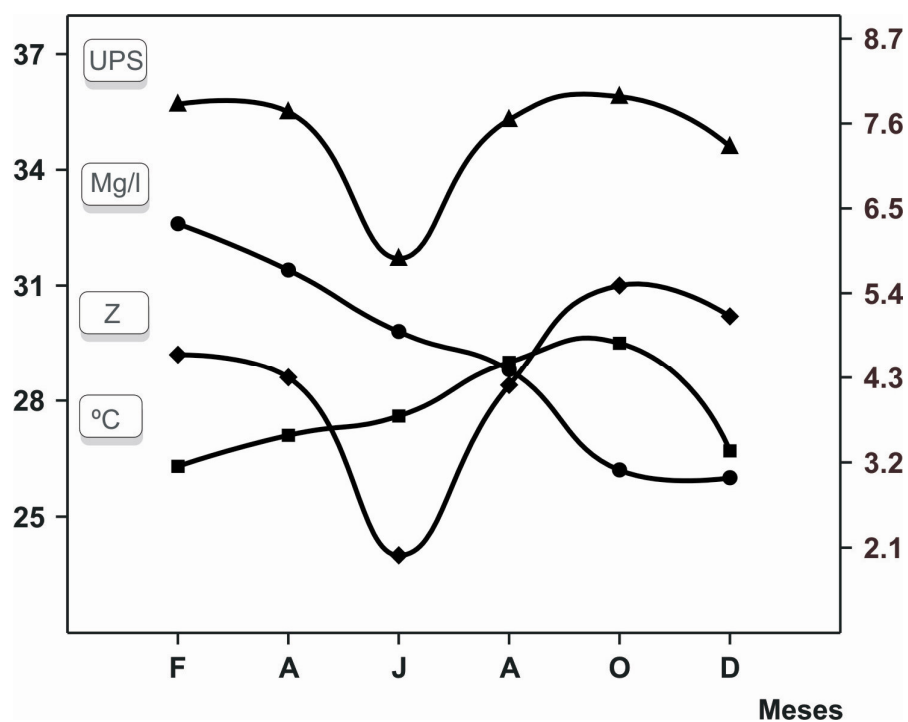


Figura 3. Comportamiento anual de los parámetros fisicoquímicos en el Sistema Arrecifal de Akumal, Quintana Roo. Salinidad (UPS), Temperatura (°C), Profundidad (m), Oxígeno (mg/l).

El análisis de conglomerados muestra cuatro grupos de las estaciones de muestreo bien diferenciados. El primer grupo corresponde al arrecife anterior, caracterizado por presentar salinidades de 30.4 a 30.9 UPS, temperaturas entre 22.7 a 23.6 °C, concentraciones de oxígeno con 3.4 a 4.2 mg/l y profundidades de 8.4 a 10.1 m constituyendo la zona más profunda (Tabla 3, Fig. 4).

El grupo dos corresponde a la parte posterior y barrera arrecifal teniendo salinidades de 30.4 a 30.9 UPS, temperaturas entre 22.7 a 23.6 °C, concentraciones de oxígeno con 3.4 a 4.2 mg/l y profundidades de 1.7 a 3.7 m (Tabla 3, Fig. 4).

Por otra parte, el tercer grupo corresponde a la línea de costa en donde se registran los valores de salinidad, temperatura y oxígeno más altos, los cuales varían de 34.8 a 36.9 UPS, de 27.2 a 27.9 °C y 3.9-4.9 mg/l, respectivamente. En esta zona se presenta la profundidad más baja que fluctúa de 1.9 a 2.5 m (Tabla 3, Fig. 4).

El cuarto grupo corresponde a la zona de Yal-Kú con influencia predominantemente de agua dulce por lo que los valores más bajos de salinidad se registran en esta zona (23.3-24.0 UPS). La temperatura varía de 22.7 a 23.6 °C, el oxígeno de 3.9-4.9 mg/l y profundidades de 1.9 a 2.5 m (Tabla 3, Fig. 4).

Tabla 3. Valores promedio por estaciones de las variables ambientales del Sistema Arrecifal de Akumal, Quintana Roo.

Estaciones	Salinidad (ups)	Temperatura (°C)	O ₂ (mg/l)	Profundidad (m)
1	34.8	27.6	4.9	2.3
2	30.8	23.1	3.6	2.3
3	30.6	23.0	4.2	1.7
4	30.4	23.0	4.1	8.4
5	30.9	23.1	3.7	8.7
6	30.9	23.6	3.9	3.7
7	30.9	23.4	3.7	2.6
8	36.9	27.9	4.6	2.5
9	36.6	27.9	4.5	1.9
10	30.9	23.4	3.4	2.6
11	30.9	23.3	3.8	2.7
12	30.8	23.1	3.6	10.1
13	30.5	22.7	3.7	9.7
14	30.8	23.0	3.8	2.1
15	30.9	23.3	3.6	2.3
16	36.8	27.8	4.7	2.0
17	24.0	27.2	4.5	2.4
18	23.3	27.2	3.9	1.9
19	30.7	23.0	3.6	2.8
20	30.5	22.9	3.9	10.0

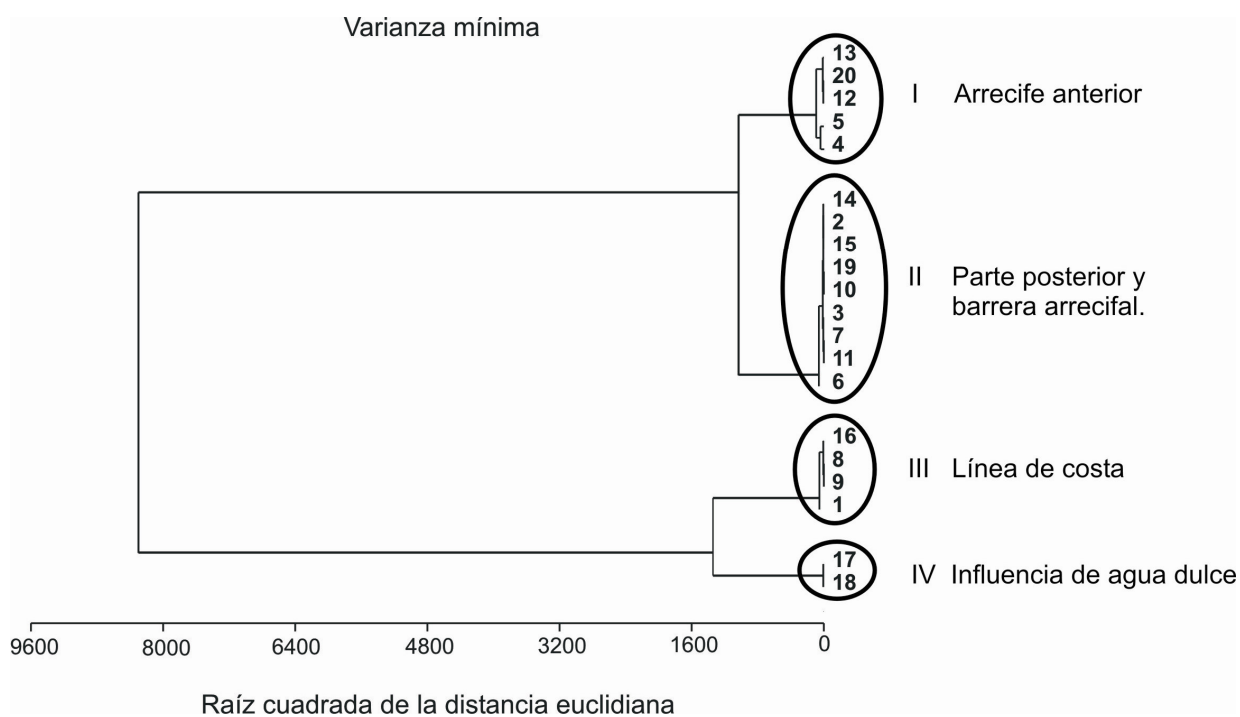


Figura 4. Resultado del análisis de conglomerados de las variables ambientales en el Sistema Arrecifal de Akumal, Quintana Roo.

Determinación de las Especies Típicas

Época de Secas

Un total de 98 especies (11,860 individuos) fueron registradas en el sistema arrecifal en la época de secas. Se obtuvieron 8 especies típicas con 5, 735 individuos, las cuales representan el 48.36% del número total de individuos registrados para esta época. Las especies que mostraron mayor importancia relativa en número (IRN) fueron: *Acanthurus chirurgus*, *Haemulon flavolineatum*, *Sparisoma viride* y *Abudefduf saxatilis*. Las especies que mostraron una amplitud de nicho mayor (ANE) fueron: *Acanthurus bahianus*, *Sparisoma viride*, *Acanthurus coeruleus* y *Thalassoma bifasciatum*. Las especies que mostraron los mayores valores del índice de importancia relativa total (IRT) son: *Acanthurus chirurgus*, *Sparisoma viride*, *Haemulon flavolineatum*, *Acanthurus bahianus*, *Acanthurus coeruleus*, *Abudefduf saxatilis*, *Thalassoma bifasciatum* y *Haemulon sciurus*. (Tabla 4).

Tabla 4. Importancia Relativa en Número (IRN), Amplitud de Nicho Espacial (ANE) e Importancia Relativa Total. Época de Secas.

Especies	IRN	ANE	IRT	Abundancia	Frecuencia
<i>Acanthurus chirurgus</i>	9.68	2.55	24.71	1148	100
<i>Sparisoma viride</i>	5.89	2.86	16.81	698	100
<i>Haemulon flavolineatum</i>	7.17	2.23	15.99	850	95
<i>Acanthurus bahianus</i>	4.95	2.87	14.21	587	100
<i>Acanthurus coeruleus</i>	5.18	2.71	14.02	614	100
<i>Abudefduf saxatilis</i>	5.39	2.44	13.16	639	100
<i>Thalassoma bifasciatum</i>	4.92	2.67	13.13	583	90
<i>Haemulon sciurus</i>	5.19	2.49	12.94	616	95

Época de Lluvias

Durante esta época se registró un total de 6,968 individuos de 85 especies en el sistema. Se obtuvieron 9 especies típicas, las cuales representan el 61.35% (4,275 individuos) del número total de individuos registrados para esta época climática. Las especies que mostraron mayor importancia relativa en número (IRN) fueron: *Acanthurus coeruleus*, *Haemulon sciurus*, *Sparisoma viride* y *Acanthurus chirurgus*. Las especies que mostraron una amplitud de nicho mayor (ANE) fueron: *Sparisoma viride*, *Acanthurus chirurgus*, *Stegastes adustus* y *Halichoeres radiatus*. Las especies que mostraron los mayores valores del índice de importancia relativa total (IRT) fueron: *Acanthurus coeruleus*, *Haemulon sciurus*, *Sparisoma viride*, *Acanthurus chirurgus*, *Haemulon flavolineatum*, *Stegastes adustus*, *Halichoeres radiatus*, *Abudefduf saxatilis* y *Acanthurus bahianus* (Tabla 5).

Tabla 5. Importancia Relativa en Número (IRN), Amplitud de Nicho Espacial (ANE) e Importancia Relativa Total. Época de Lluvias.

Especies	IRN	ANE	IRT	Abundancia	Frecuencia
<i>Acanthurus coeruleus</i>	11.14	2.35	26.23	776	95
<i>Haemulon sciurus</i>	8.94	2.53	22.70	623	100
<i>Sparisoma viride</i>	7.29	2.91	21.29	508	100
<i>Acanthurus chirurgus</i>	6.86	2.80	19.23	478	95
<i>Haemulon flavolineatum</i>	6.53	2.49	16.32	455	95
<i>Stegastes adustus</i>	5.50	2.70	14.87	383	95
<i>Halichoeres radiatus</i>	4.81	2.66	12.85	335	100
<i>Abudefduf saxatilis</i>	6.00	2.05	12.36	418	95
<i>Acanthurus bahianus</i>	4.29	2.66	11.44	299	95

Época de Nortes

En la época de nortes se registraron un total de 12,568 individuos de 87 especies en el sistema arrecifal. Se obtuvieron 11 especies típicas con 8, 710 individuos, representando el 69.3% del número total de individuos registrados para esta época. Las especies que mostraron mayor importancia relativa en número (IRN) fueron: *Abudefduf saxatilis*, *Acanthurus coeruleus*, *Haemulon sciurus* y *Acanthurus chirurgus*. Las especies que mostraron una amplitud de nicho mayor (ANE) fueron: *Stegastes adustus*, *Sparisoma viride*, *Acanthurus bahianus* y *Halichoeres radiatus*. Las especies que mostraron los mayores valores del índice de importancia relativa total (IRT) son: *Abudefduf saxatilis*, *Acanthurus coeruleus*, *Acanthurus chirurgus*, *Sparisoma viride*, *Acanthurus bahianus*, *Haemulon sciurus*, *Stegastes adustus*, *Haemulon flavolineatum*, *Thalassoma bifasciatum*, *Halichoeres radiatus* y *Scarus taeniopterus* (Tabla 6).

Tabla 6. Importancia Relativa en Número (IRN), Amplitud de Nicho Espacial (ANE) e Importancia Relativa Total. Época de Nortes.

Especies	IRN	ANE	IRT	Abundancia	Frecuencia
<i>Abudefduf saxatilis</i>	9.37	2.60	24.33	1178	100
<i>Acanthurus coeruleus</i>	8.65	2.67	23.06	1087	100
<i>Acanthurus chirurgus</i>	8.26	2.78	22.95	1038	100
<i>Sparisoma viride</i>	7.26	2.90	21.06	912	100
<i>Acanthurus bahianus</i>	7.24	2.81	20.32	910	100
<i>Haemulon sciurus</i>	8.63	2.26	19.55	1085	100
<i>Stegastes adustus</i>	5.08	2.94	14.97	639	100
<i>Haemulon flavolineatum</i>	4.58	2.76	12.65	576	100
<i>Thalassoma bifasciatum</i>	4.07	2.65	10.77	511	95
<i>Halichoeres radiatus</i>	3.03	2.81	8.52	381	100
<i>Scarus taeniopterus</i>	3.13	2.71	8.47	393	100

Comportamiento Anual

Basado en el registro total de cada censo visual efectuado en 6 muestreos bimestrales durante el 2001 en el sistema arrecifal de Akumal, se obtuvo un total de 113 especies con 31,396 individuos. El índice de Importancia Relativa Total (IRT) permitió obtener 12 especies típicas con 20,457 individuos, representando el 65.16% del número total de individuos reportados para el sistema. Las especies que mostraron mayor importancia relativa en número (IRN) fueron *A. chirurgus*, *A. coeruleus*, *H. sciurus* y *A. saxatillis*. Las especies que mostraron una amplitud de nicho mayor (ANE) fueron *Sparisoma viride*, *Stegastes adustus*, *Acanthurus bahianus* y *Halichoeres radiatus*. Las especies con los mayores valores del índice de importancia relativa total (IRT) fueron: *Acanthurus chirurgus*, *Acanthurus coeruleus*, *Sparisoma viride*, *Haemulon sciurus* y *Abudefduf saxatillis* (Tabla 7).

Tabla 7. Importancia Relativa en Número (IRN), Amplitud de Nicho Espacial (ANE) e Importancia Relativa Total. Anual.

Especies	IRN	ANE	IRT	Abundancia	Frecuencia
<i>Acanthurus chirurgus</i>	8.49	2.80	23.87	2664	100
<i>Acanthurus coeruleus</i>	7.89	2.74	21.68	2477	100
<i>Sparisoma viride</i>	6.75	2.94	19.90	2118	100
<i>Haemulon sciurus</i>	7.40	2.61	19.36	2324	100
<i>Abudefduf saxatillis</i>	7.12	2.63	18.78	2235	100
<i>Acanthurus bahianus</i>	5.72	2.90	16.66	1796	100
<i>Haemulon flavolineatum</i>	5.99	2.67	16.02	1881	100
<i>Stegastes adustus</i>	4.39	2.92	12.85	1378	100
<i>Thalassoma bifasciatum</i>	4.26	2.73	11.68	1337	100
<i>Halichoeres radiatus</i>	2.65	2.89	7.70	833	100
<i>Scarus taeniopterus</i>	2.59	2.71	7.04	812	100
<i>Microspathodon chrysurus</i>	1.92	2.73	5.25	602	100

Diagnosis Taxonómica de las Especies Típicas de Peces

Abudefduf saxatilis (Linnaeus, 1758)

N. C.: Petaca rayada, sergeant major

Abudefduf saxatilis Linnaeus, 1758. *Syst. Nat.* 10: 824



Cuerpo comprimido lateralmente, profundidad de 1.6 a 1.9 cm en longitud estándar. Boca pequeña, moderadamente protáctil, boca terminal y oblicua; mandíbulas con dientes en una fila, rígidos e incisivos con una prominente muesca en las puntas; margen inferior del suborbital libre; preorbital no muy profundo; preopérculo con un borde liso (sin aserraciones evidentes). Dorsal XIII-XIV, 12-13; anal II, 10-12; pectoral con 18 ó 19 radios; 21 escamas en la línea lateral; branquiespinas 7 ó 8 + 17-19 de la rama inferior del primer arco branquial. Cuerpo amarillo-verdoso de la parte superior y blanco en la parte inferior, con cinco barras negras prominentes que se angostan hacia el vientre. Puede presentar una sexta

barra tenue en la parte posterior del pedúnculo caudal; un punto negro en la parte superior de la base de la aleta pectoral. El macho en la etapa adulta es azulado oscuro, teniendo menos conspicuas las barras negras en el cuerpo. Pueden llegar a medir hasta 22.9 cm de longitud total.

Acanthurus bahianus (Castelnau, 1855)

N. C.: Navajón pardo, ocean surgeonfish

Acanthurus bahianus Castelnau, 1855. *Anim. Nouv.* 13: 1-112



El cuerpo relativamente alto y comprimido, profundidad 1.8 a 2.1 en la longitud estándar. Cabeza corta y profunda 3.2 a 3.6 en longitud total; ojos 2.9 a 3.7; boca pequeña; 14 dientes superiores y 16 inferiores, aserrados espatulados y denticulados; 20 a 22 branquiespinas en la rama inferior del primer arco. Dorsal IX, 23 a 26; Anal III, 21 a 23, la primera espina muy pequeña y las otras dos muy fuertes.

Caudal moderadamente emarginada cóncava contenida 5.0 a 12.0 en longitud estándar, la espina caudal moderada, cerca de 3.0 a 4.0 en longitud del ojo. Escamas pequeñas ctenoideas. Línea lateral curva; de 140 a 150 escamas. Pectorales 15 a 17 radios. La coloración de esta especie es café, gris verdoso o azulado; parte inferior de la cabeza color grisáceo pálido; aleta caudal amarillo aceituna o café aceituna; dorsal con bandas a lo largo naranja o verde azuladas; anal bandas grisáceas azuladas y gris oscuro; los radios de la aleta pectoral naranja oscuros; los radios de la aleta pélvica azul pálido; membrana opercular púrpura y negra; el borde posterior de los ojos de color gris cruzados por seis o siete líneas amarillas; alrededor de la espina caudal de color violeta. Los juveniles presentan la misma coloración a llegar a adultos. Talla máxima de 36 cm.

Acanthurus chirurgus (Bloch, 1787)

N. C.: Navajón cirujano, doctor fish

Chaetodon chirurgus Bloch, 1787. *Naturg. Ausl. Fische.* 13: 1-146



Cuerpo comprimido, alto, profundidad 1.75 a 2.1 en longitud estándar. Cabeza baja 2.8 a 3.6 en la longitud total; ojos 2.5 a 4.0; boca pequeña, de 1.4 a 1.7 en longitud de la cabeza; 18 a 20 dientes denticulados y espatulados aserrados; branquiespinas 16–19 sobre el primer arco. Dorsal IX, 24 a 25; Anal III, 22 a 23. Caudal ligeramente emarginada, la concavidad caudal 14 a 18 en longitud estándar del cuerpo, la espina caudal moderada, 3.0 a 4.0 en longitud del ojo. Pectorales 16 a 17 radios suaves. Línea lateral completa curva; escamas pequeñas ctenoides, aproximadamente 140. Esta especie presenta 10 barras negras a cada lado el cuerpo; los bordes de la aleta dorsal y anal azules; la base de la aleta caudal pálida como el cuerpo; los radios pectorales café oscuro y en la aleta pélvica azul pálido; la membrana opercular negra; el borde de la espina caudal negra rodeada de azul pálido. Juveniles con la misma coloración de los adultos. Longitud máxima 35 cm.

Acanthurus coeruleus (Bloch & Schneider, 1801)

N. C.: Navajón azul, blue tang

Acanthurus coeruleus Bloch & Schneider, 1801. *Syst. Ichth.* 11: 1-584



Cuerpo comprimido, alto, profundidad 1.55 a 1.75 en longitud estándar. Cabeza corta y profunda, 3.2 a 3.5 en la longitud total; ojos 3.0 a 4.5; boca pequeña 1.2 a 1.5 en longitud de la cabeza; dientes espatulados aserrados y denticulados con 14 en la mandíbula superior y 16 en la inferior; branquiespinas 13-14 sobre la parte inferior del primer arco. Dorsal IX, 26 a 28; Anal III, 24 a 26; las tres espinas son muy fuertes. Pectorales 16 a 17 radios. Caudal emarginada cóncava contenida 10 veces en longitud estándar del cuerpo; espina caudal grande, más de la mitad en la longitud del ojo. Línea lateral completa curveada; 160 escamas aproximadamente. Color del cuerpo azul intenso, casi negro con líneas longitudinales grises; dorsal y anal azul con bandas anaranjadas, la base de la caudal no más pálida que el resto del cuerpo; la vaina de la espina caudal de color blanco. En etapa juvenil el color del cuerpo es amarillo brillante. Su talla máxima 36 cm.

Haemulon flavolineatum (Desmarest, 1823)

N. C.: Ronco amarillo, french grunt

Haemulon flavolineatum Desmarest, 1823. *Prem. Déc. Ichth.* 271-320



Cuerpo oblongo, comprimido, profundidad de 3.4 a 3.8 en longitud estándar. Cabeza escamada, excepto frente del hocico, labios y barbilla, perfil superior ligeramente convexo; maxilar sobrepasando la mitad del ojo; dos poros y una ranura en medio de la barbilla. De 22 a 24, normalmente 23 branquiespinas en la parte inferior del primer arco branquial. Preopérculo ligeramente dentado en adultos. Aleta dorsal XII, 14-15; anal III y 8; las porciones suaves de las aletas dorsales y anales se descubren casi a su margen exterior. Color del cuerpo ligeramente negrusco, en los costados amarillo luminoso, vientre amarillo; estrías de color bronce oscuro; las membranas de la aleta dorsal, anal y caudal claras; pectorales claras; el interior de la boca color rojo. Escamas ctenoideas al comienzo de la aleta caudal, ásperas al tacto; línea lateral con 47-50, normalmente 48-49; las escamas debajo de la línea lateral

más grandes a las superiores, anillo de escamas alrededor del pedúnculo caudal (22 escamas). Talla máxima 30 cm de longitud total.

Haemulon sciurus (Shaw, 1803)

N. C.: Ronco, bluestriped grunt

Haemulon sciurus Shaw, 1803. *Gen. Zoo. or Sys. Nat. Hist.* 1800-1826



Cuerpo oblongo, comprimido, profundidad de 3.6 a 3.9 en longitud estándar. Cabeza escamada, excepto frente del hocico, labios y barbilla, perfil superior ligeramente convexo; maxilar sobrepasando la mitad del ojo; dos poros y una ranura en medio de la barbilla; primer arco branquial con un total de 27 a 31 branquiespinas en la parte inferior del primer arco branquial, normalmente 29; preopérculo no dentado. Aleta dorsal XII, 16-17 (normalmente 16); anal III, 9 radios; las porciones suaves de las aletas dorsales y anales desnudas, casi a sus márgenes exteriores; escamas ctenoideas de la aleta caudal a la cabeza; escamas de la línea lateral de

48-51; las filas de escamas longitudinales debajo de la línea lateral ligeramente oblicuas; 22 escamas alrededor del pedúnculo caudal. Color del dorso de bronce amarillento a blanco o crema en la parte ventral; Rayas longitudinales azul pálido partiendo de la cabeza y cuerpo hasta la base de la aleta caudal; las membranas de la aleta dorsal amarillo intenso; dorsal suave y caudal del negro al gris oscuro; aletas pélvicas y pectorales amarillas o blancas; frecuentemente una mancha negra bajo el preopérculo; el interior de la boca roja. Talla máxima 46 cm de longitud total.

Halichoeres radiatus (Linnaeus, 1758)

N. C.: Doncella arco-iris, puddingwife wrasse

Halichoeres radiatus Linnaeus, 1758. *Syst. Nat.* 10: 824



Cuerpo moderadamente comprimido y profundo de 2.7 a 3.6 veces en longitud estándar. Perfil dorsal de la cabeza ligeramente redondeado; perfil de la boca bastante prominente en los adultos, con 4 fuertes dientes caninos anteriores

presentes en cada mandíbula y grandes dientes caninos curvos, localizados muy cerca de la parte posterior y superior de la mandíbula. Aleta dorsal continua. Origen de la aleta dorsal sobre la base de la aleta pectoral, espinas y radios de las aletas dorsal y anal de similar longitud, ninguna de las aletas con espinas y radios alargados. Dorsal IX, 11; Anal III, 12. Línea lateral abruptamente inclinada y descendente en la parte posterior. Escamas de la línea lateral anterior con 3 o más poros por escama. Escamas no extendidas hacia la base de las aletas dorsal y anal. Caudal truncada con esquinas ligeramente redondeadas; parte trasera amarillo-olivo, oscureciéndose a los lados en anaranjado-amarillo. Cuerpo con hileras o manchas azules y cabeza con estrechas bandas diagonales azules; 3 a 5 barras azul pálido en la parte trasera, más evidentes en los juveniles; un pequeño punto negro en la parte superior de la base de la aleta pectoral. Juveniles con dos rayas amarillas en el cuerpo, un gran punto negro en la parte radial de la aleta dorsal y otro en la parte superior de la base de la caudal. Los machos son muy grandes y de color verde intenso con una barra azul pálida en medio del cuerpo. Longitud máxima 51 cm.

Microspathodon chrysurus (Cuvier & Valenciennes, 1830).

N. C.: Chopita de cola amarilla, yellowtail damselfish

Microspathodon chrysurus Cuvier & Valenciennes, 1830. *Hist. Nat. Poiss.* 1- 499.



Cuerpo profundo y robusto. Boca pequeña a mediana, escasamente protáctil, la mandíbula inferior se extiende hacia abajo en un movimiento casi redondo para abrir la boca. Dientes de la mandíbula superior e inferior en una sola fila, delgados, cetiformes, de forma incisiva y muy flexibles. Hueso preorbital muy ancho y claramente notorio sobre el labio superior, suborbital liso. Preopérculo no aserrado. Dorsal XII-XIII, 14-15; anal II, 12-13; caudal bifurcada. Normalmente los adultos presentan coloración azul oscuro, algunas veces negro-marrón con puntos azules brillantes e iridiscentes dispersos en la superficie dorsal y lateral del cuerpo; caudal notablemente más pálida que el cuerpo, usualmente amarilla pero algunas veces blanca; ocasionalmente, los adultos son café pálido totalmente o de un color negro oscuro con la aleta caudal no pálida. Los juveniles son casi siempre azul oscuro con puntos brillantes de color azul eléctrico, dispersos en el cuerpo y una aleta caudal blanca. Talla máxima 20 cm,

Scarus taeniopterus (Desmarest, 1831)

N. C.: Loro listado, princess parrotfish

Scarus taeniopterus Desmarest, 1831. *Dict. Classique*, 1822-31



Profundidad del cuerpo entre 2.6 a 2.9 veces en la longitud estándar. Placa dental superior cubriendo ligeramente la inferior cuando la boca esta cerrada. Branquiespinas de 54 a 67 en la rama inferior del primer arco branquial; Dorsal IX, 10; Anal III, 9; De 13 a 14 radios en las aletas pectorales, aleta caudal truncada a ligeramente redondeada, 7 escamas medias predorsales (raramente 6), 3 hileras de escamas en las mejillas, de 6 a 8 escamas en la primera hilera. Cuerpo en fase primaria con 3 franjas café oscuro, alternado con blanquecinas, la primera a lo largo del dorso y la última atravesando la base de la aleta pectoral. Bordes inferiores de la caudal oscuros. El macho en la fase terminal es principalmente de color azul-verdoso y naranja con una franja amarilla en la parte anterior del cuerpo, cubriendo la aleta pectoral; dos franjas verde-azules en la cabeza, una atravesando la parte superior y

otra la inferior del ojo; caudal azul, con bordes superior e inferior naranja brillante. La talla máxima es de 33 cm.

Sparisoma viride (Bonnaterre, 1788)

N. C.: Loro Viejo, stoplight parrotfish

Sparisoma viride Bonnaterre, 1788. *Tabl. Encyclop. Méthod. Ichthyol.* 1-215.



Profundidad del cuerpo entre 2.3 a 2.6 veces en longitud estándar. Espacio interorbital ligeramente convexo; branquiespinas 17- 21 en la rama inferior del primer arco branquial. La parte anterior de la membrana de las narinas usualmente más larga que ancha, con 4 a 7 cirros; placa inferior cubriendo ligeramente la superior cuando la boca está cerrada.; dorsal IX, 10; anal III, 9; pectoral con 12 radios; caudal truncada en peces pequeños, emarginada en fases primarias y lunada en adultos machos grandes; cuatro escamas medias predorsales, una hilera de escamas predorsales en la mejilla. Peces en primera fase con una banda café oscuro. Los dos

tercios superiores del cuerpo con los bordes de las escamas café oscuro o negro, los centros más claros, el tercio inferior rojo brillante. Cabeza café. Machos en fase terminal principalmente verdes, los bordes de las escamas verde tenue, con 3 bandas diagonales amarillo-naranja en la cabeza; borde posterior de las branquias amarillo-naranja con una marca amarillo brillante cerca al borde superior; base de la aleta caudal con una gran mancha amarilla y una más angosta en forma creciente cerca al margen posterior de la aleta de color amarillo-naranja. En los juveniles el tercio basal de la aleta caudal es blanco, el cuerpo tiene tres largas y anchas hileras de manchas pálidas. La talla máxima es de 64 cm.

Stegastes adustus (Troschel & Müller, 1865)

N. C.: Chopita prieta, dusky damselfish

Stegastes adustus Troschel and Müller, 1865. *Reis. In den Verein. Staa.*1864-65



Cuerpo comprimido lateralmente, profundidad de 1.9 a 2.1 cm en longitud estándar. Boca pequeña, dientes rígidos en una fila en las mandíbulas con puntas truncadas; margen del preopérculo aserrado. Dorsal con XII, 14-17; anal II, 13-15; pectoral con 20 a 22 radios (usualmente 21); escamas de la línea lateral de 18 a 21 (frecuentemente 20). Los juveniles son anaranjados-rojizos en la parte anterior, con pequeños puntos azules brillantes al frente y puntos oscuros en la parte superior de la base de la pectoral, dorsal y pedúnculo caudal; la coloración va desapareciendo conforme el pez crece. Los adultos son de color gris oscuro a negruscos con líneas negras verticales en el cuerpo, un punto negro, a veces difuso, en la parte superior de la base de las aletas pectorales, las cuales son pálidas; las otras aletas son oscuras. El tamaño máximo es de 15 cm de longitud total.

Thalassoma bifasciatum (Bloch, 1791)

N. C.: Cara de cotorra, bluehead

Thalassoma bifasciatum Bloch, 1791. *Naturg. Ausl. Fische, Berlín* 9: 1-152



Cuerpo alargado, profundidad de 3.5 a 4.3 cm en longitud estándar. Cabeza sin escamas, margen preopercular liso; dientes progresivamente largos hacia el frente; 17-21 branquiespinas en la parte inferior del primer arco branquial. Dorsal VIII-VIII, 12-13 (raramente 12); anal III, 10-11 radios (raramente 10); pectoral con 14 ó 15 radios; línea lateral continua, con una sección angular en la parte baja posterior de la dorsal, con 26 escamas. Caudal de los juveniles truncada a ligeramente redondeada, volviéndose en los adultos lunada. Presenta tres fases primarias de coloración; la primera con una raya lateral negra, que continua hasta la cabeza como manchas rojas pálidas; parte posterior con una raya amarilla en peces arrecifales y blanquecina en peces no arrecifales. Parte baja del cuerpo blanca. En la fase más grande tiene una brillante cabeza azul y el cuerpo verde con dos anchas barras verticales en la parte anterior, las cuales están separadas por un tenue azul, esta fase siempre es típica de los machos. La pequeña fase amarilla con una raya negra puede ser macho o hembra. Pueden llegar a medir hasta 25 cm.

Análisis Ecológico de las Especies Típicas

Análisis espacio-temporal de la abundancia de cada Especie Típica

Los resultados de las especies típicas se presentan ordenados de acuerdo a su valor de Importancia Relativa Total (IRT).

Acanthurus chirurgus

En el sistema arrecifal se registraron 2,664 individuos, constituyendo el 8.5% del total de individuos observados. Las densidades más altas en la época de secas se observaron principalmente en la parte frontal y posterior de la bahía Akumal (estaciones 1, 3, 4, 6, 7, 11 y 10) y en la zona anterior arrecifal de Yal-Kú (estación 19), con valores entre 0.1 y 0.4 ind/m², mientras que en las estaciones 2, 5, 8, 9, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 y 20 (laguna arrecifal y plataforma arenosa del sistema) se presentaron las menores densidades oscilando entre 0.01 y 0.05 ind/m² (Tabla 8, Fig. 5). En lluvias, las estaciones 10 y 20 (zona posterior de Akumal y plataforma arenosa de Yal-Kú) presentaron la mayor densidad con 0.1 ind/m². A su vez, en la estación 2 (Bahía de Akumal) no se registraron organismos de esta especie (Tabla 9, Fig. 5). En la época de nortes, los máximos valores se obtuvieron en la parte arrecifal anterior y posterior de todo el sistema arrecifal (estaciones 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 14, 15 y 19) con valores de 0.1 a 0.2 ind/m². La laguna arrecifal y la plataforma arenosa de todo el sistema, así como la laguna de Yal-Kú (estaciones 1, 2, 9, 12, 13, 16, 17, 18 y 20) presentaron densidades fluctuantes entre 0.02-0.05 ind/m² (Tabla 10, Fig. 5).

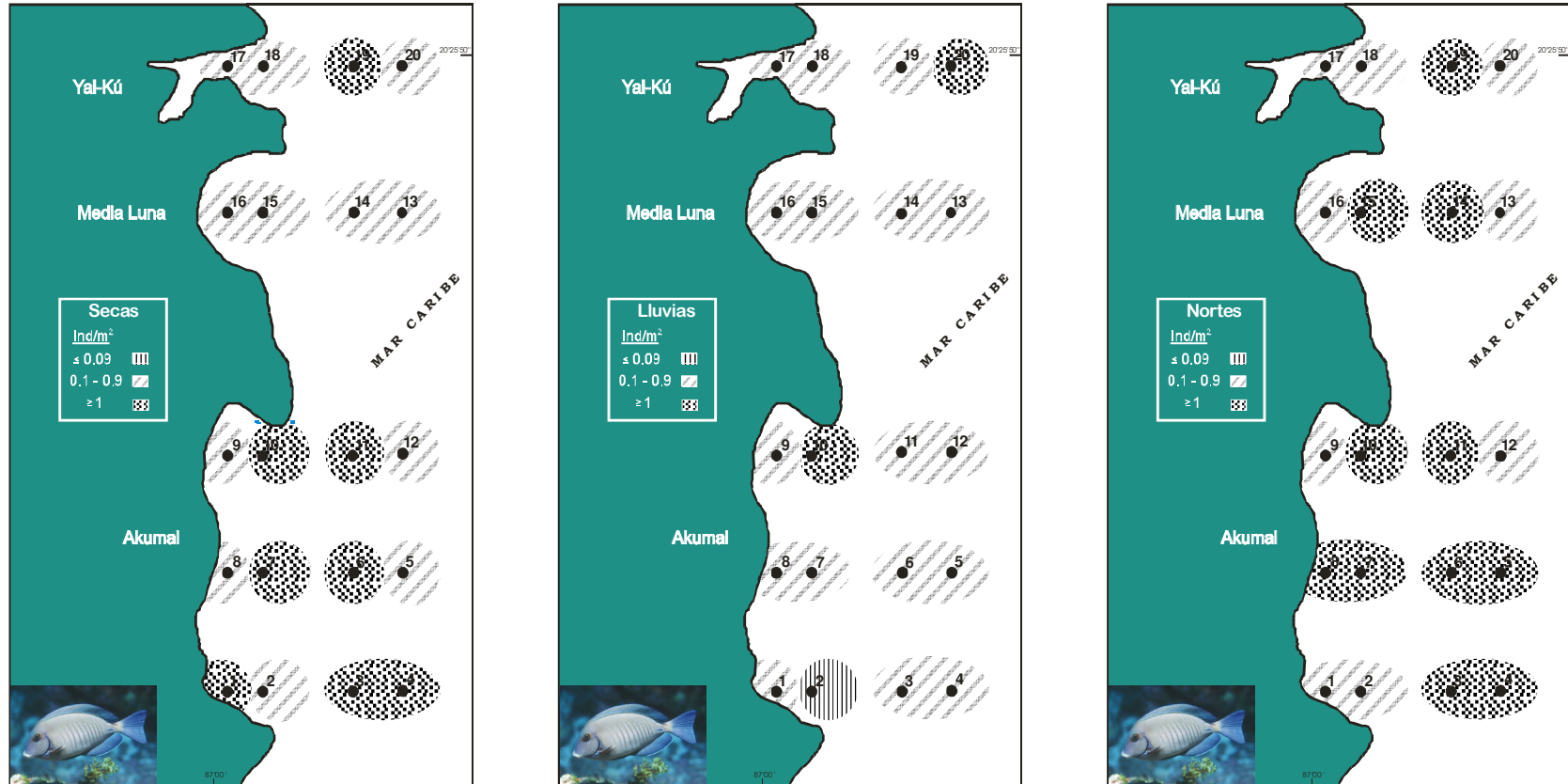


Figura 5. Distribución de la abundancia de *Acanthurus chirurgus* en el Sistema Arrecifal de Akumal, Quintana Roo. Época de Secas, Lluvias y Nortes.

La menor densidad se registró en la época de lluvias (junio) con 0.01 ind/m². A su vez, la época de secas (febrero) presento el valor más alto con 0.1 ind/m². Por otra parte, en nortes se presentaron valores de 0.07 ind/m² y 0.06 ind/m² en los meses de octubre y diciembre, respectivamente (Tabla 11, Fig. 6). El análisis estadístico de la densidad mostró diferencias significativas entre las épocas climáticas (Tabla 12).

Tabla 11. Densidad de las especies de peces típicas en las tres épocas climáticas.

Especies	Densidad (ind/m ²)					
	Secas		Lluvias		Nortes	
	Febrero	Abril	Junio	Agosto	Octubre	Diciembre
<i>Acanthurus chirurgus</i>	0.10	0.04	0.01	0.05	0.07	0.06
<i>Acanthurus coeruleus</i>	0.04	0.04	0.01	0.09	0.05	0.08
<i>Sparisoma viride</i>	0.06	0.03	0.01	0.05	0.06	0.06
<i>Haemulon sciurus</i>	0.02	0.05	0.01	0.07	0.10	0.04
<i>Abudefduf saxatilis</i>	0.05	0.03	0.03	0.03	0.07	0.07
<i>Acanthurus bahianus</i>	0.03	0.05	0.01	0.03	0.06	0.06

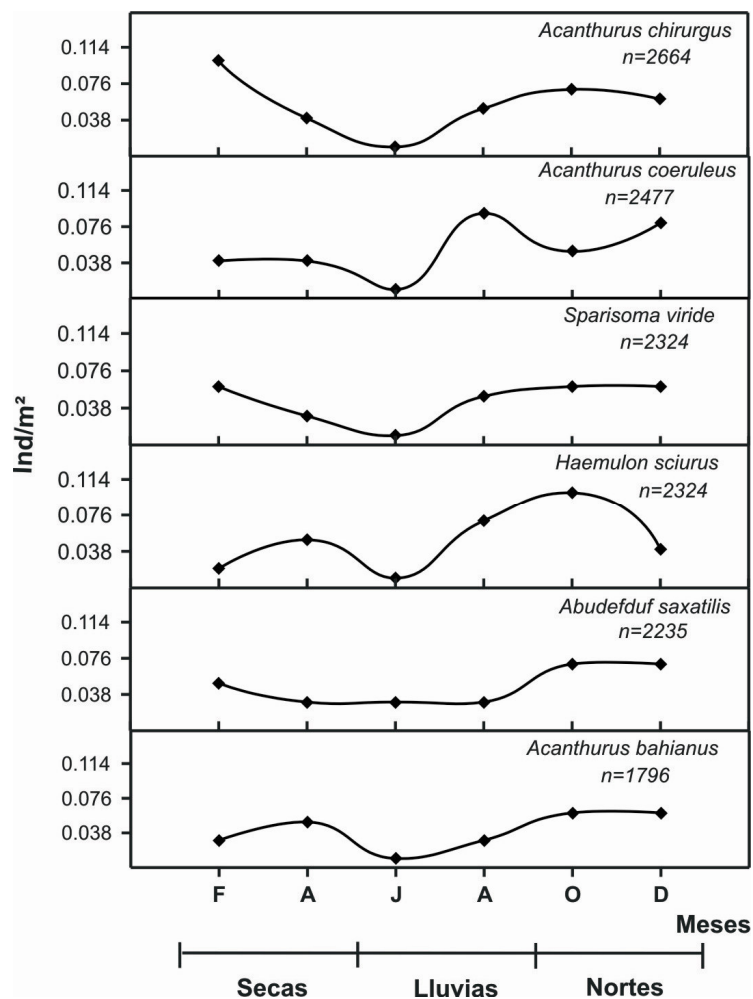


Figura 6. Comportamiento anual de la densidad numérica de las especies típicas del sistema arrecifal de Akumal.

Tabla 12. Análisis estadístico de la densidad de cada especie típica, con los promedios para cada una de las épocas climáticas del Sistema Arrecifal de Akumal, Quintana Roo.

	Secas	Lluvias	Nortes	G.L.	Estadístico	Significancia
Acanthurus chirurgus	0.072	0.030	0.065	2	H = 5.76	P = 0.056
Acanthurus coeruleus	0.038	0.049	0.068	2/57	F = 1.81	P = 0.172
Sparisoma viride	0.044	0.032	0.057	2	H = 12.78	P = 0.001
Haemulon sciurus	0.039	0.039	0.068	2	H = 1.46	P = 0.481
Abudefduf saxatilis	0.040	0.026	0.074	2/57	F = 3.78	P = 0.028
Acanthurus bahianus	0.037	0.019	0.057	2	H = 17.14	P = 0.001

De manera anual la especie presenta las menores densidades con 0.02 ind/m² en la laguna arrecifal en la bahía de Akumal y la zona de Yal-Kú (estaciones 9, 17 y 18). Mientras que las mayores densidades se observan en la estación 3 y 10, con 0.15 y 0.2 ind/m², respectivamente (bahía de Akumal) (Fig. 7). En salinidades de 30.4 a 30.9 UPS, temperaturas entre 22.7-23.6 °C, oxígeno disuelto de 3.4-4.2 mg/l y profundidades entre 1.9-2.5 m.

Acanthurus coeruleus

Un total de 2,477 individuos fueron registrados para el sistema, representando el 7.9% del total. En secas se registran las máximas densidades en las estaciones 4, 5, 7, 10, 14 y 19 (Akumal, Media Luna y Yal-Kú) con 0.1 ind/m². A su vez, en la laguna arrecifal de Akumal (estación 9) y la laguna de Yal-Kú (estación 18), la densidad fluctuó entre 0.001 a 0.004 ind/m² (Tabla 13, Fig. 8). Por otra parte, en lluvias se presentaron las densidades más altas en el arrecife posterior de Akumal (estación 10, con 0.3 ind/m²), zona anterior arrecifal de Media Luna (estación 14, con 0.2 ind/m²) y plataforma arenosa de Yal-Kú (estación 19, con 0.1 ind/m²), mientras que en la estación 20 (Yal-Kú) no se observaron especímenes (Tabla 14, Fig. 8). Durante nortes, las abundancias más altas se obtuvieron en las estaciones 3, 4, 5, 6, 8 (Akumal), 14, 15, 16 (Media Luna) y 20 (Yal-Kú) con valores oscilantes entre 0.1 y 0.3 ind/m². Las estaciones 1, 2, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 17, 18 y 19 (laguna arrecifal, arrecife posterior y anterior de Akumal y Media Luna, así como la zona de Yal-Kú) presentaron densidades desde 0.01 ind/m² hasta 0.05 ind/m² (Tabla 15, Fig. 8).

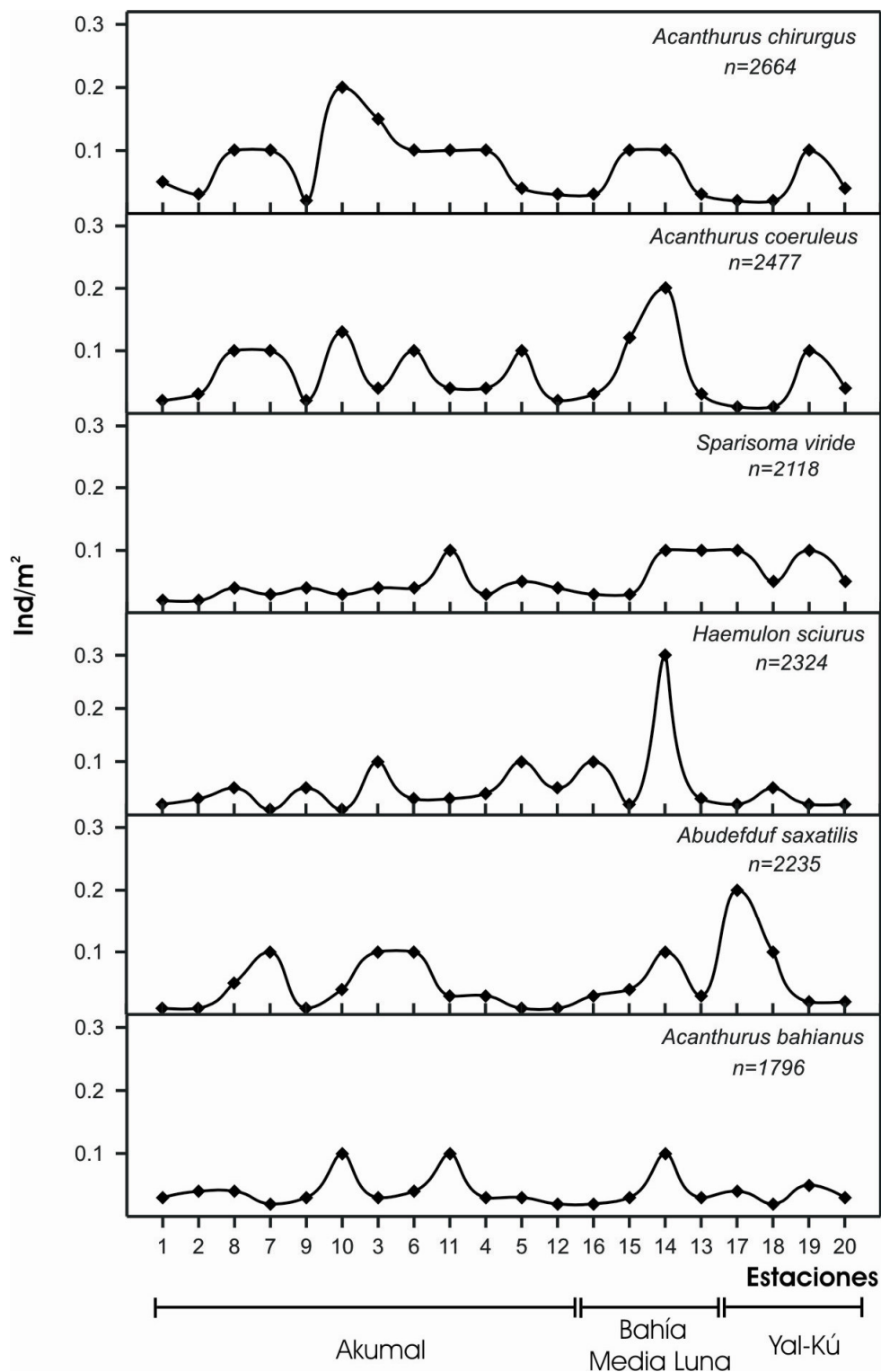


Figura 7. Comportamiento anual de la densidad numérica en cada estación de muestreo de las especies típicas del sistema arrecifal de Akumal, Bahía Media Luna y Yal-Kú.

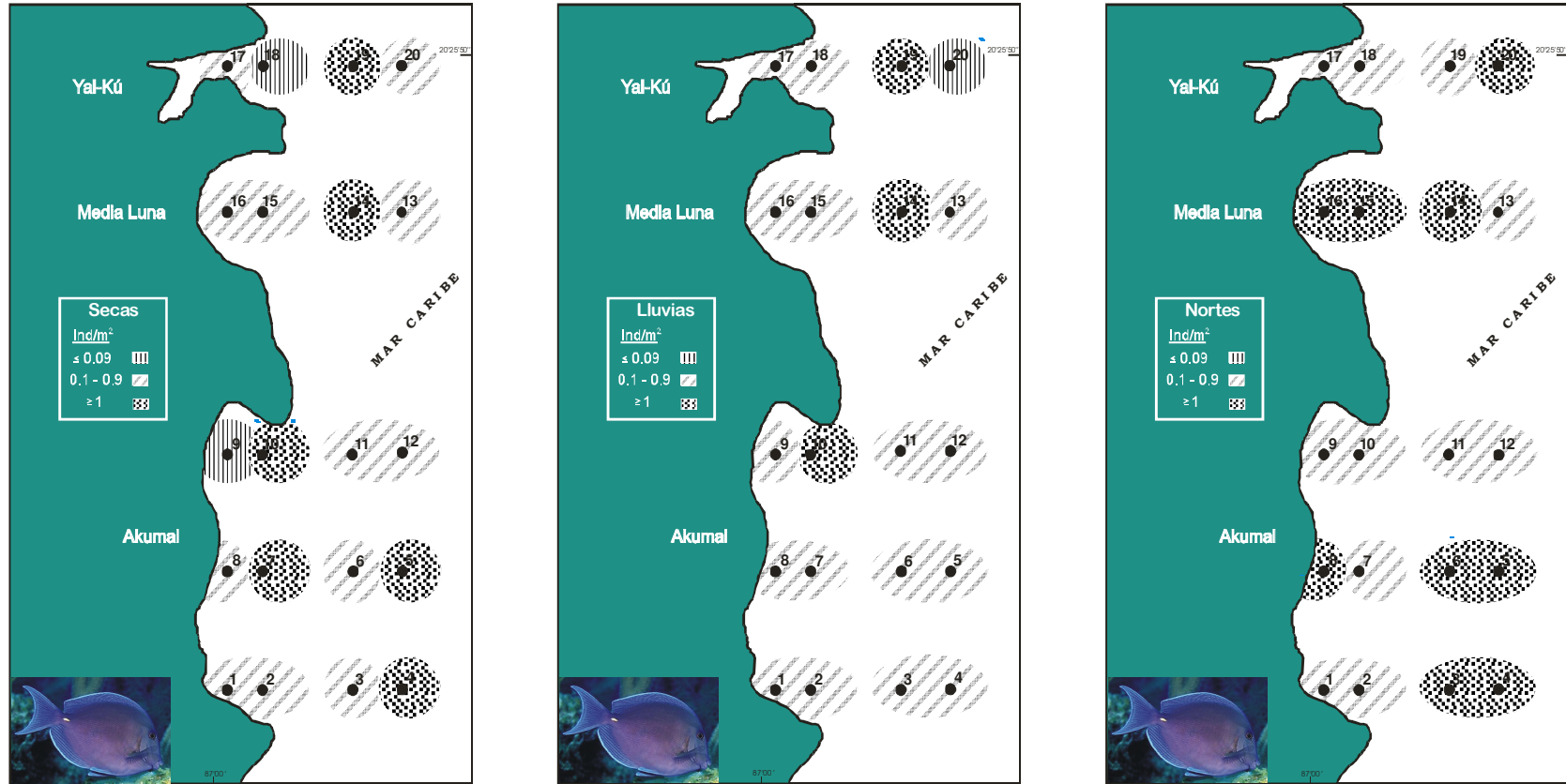


Figura 8. Distribución de la abundancia de *Acanthurus coeruleus* en el Sistema Arrecifal de Akumal, Quintana Roo. Época de Secas, Lluvias y Nortes.

El valor de la densidad estimado para la época de secas fue 0.04 ind/m². En lluvias se observó el valor más bajo con 0.01 ind/m² (junio) y el valor más alto con 0.04 ind/m² (agosto). En nortes se registraron valores de 0.05 ind/m² (octubre) y 0.08 ind/m² (diciembre; Tabla 11, Fig. 6). El análisis estadístico de la densidad no mostró diferencias significativas entre las épocas ($p > 0.1$; Tabla 12).

Anualmente las densidades más bajas se observan en el área de Yal-Kú con 0.01 ind/m² (estaciones 17 y 18). Las densidades más altas se presentan en las estaciones 10 (0.13 ind/m²), 14 (0.2 ind/m²) y 15 (0.12 ind/m²) (bahía de Akumal y bahía Media Luna; Fig. 7). Se presentan valores de salinidad entre 30.4 a 30.9 UPS con temperaturas de 22.7 a 23.6 °C, concentraciones de oxígeno disuelto entre 3.4-4.2 mg/l y de 1.7-3.7 m de profundidad.

Sparisoma viride

Un total de 2,118 individuos fueron registrados para el sistema, representando el 6.7% del total. En la época de secas se registran las máximas densidades en las estaciones 5, 11, 13, 14, 18 y 19 (laguna de Yal-Kú, arrecife frontal y plataforma arenosa de la bahía de Akumal y Media Luna) con valores de 0.1 ind/m². A su vez, la laguna arrecifal y el arrecife posterior de todo el sistema arrecifal (estaciones 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 16, 17 y 20) la densidad osciló entre 0.01 a 0.05 ind/m² (Tabla 16, Fig. 9). Por otra parte, la época de lluvias presentó la densidad más alta en la laguna de Yal-Kú (estación 17) con 0.1 ind/m², mientras que el resto del sistema (estaciones 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19 y 20) la

densidad fluctuó de 0.01 a 0.05 ind/m² (Tabla 17, Fig. 9). Durante la época de nortes, las abundancias más altas se obtuvieron en las estaciones 3, 4, 5, 6, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 19 y 20 (laguna de Yal-Kú, plataforma arenosa y arrecife anterior de todo el sistema) con valores de 0.1 ind/m². Las estaciones 1, 2, 7, 8, 9, 10, 13 y 18 (principalmente la laguna arrecifal y el arrecife posterior de Akumal) presentaron densidades desde 0.01 ind/m² hasta 0.05 ind/m² (Tabla 18, Fig. 9).

En las épocas climáticas correspondientes a secas (febrero) y nortes (octubre y diciembre) presentaron la más alta densidad con 0.06 ind/m², contrariamente en lluvias, cuando la densidad observada fue de 0.01 ind/m² (junio) y 0.05 ind/m² (agosto; Tabla 11, Fig. 6). La densidad entre épocas climáticas fue significativamente diferente (Tabla 12).

De manera anual las densidades más bajas se observan en la bahía Akumal con 0.02 ind/m² (estaciones 1 y 2). Las densidades más altas se presentan en las estaciones 11, 13, 14, 17 y 19 con 0.1 ind/m² (bahía de Akumal, Media Luna y Yal-Kú; Fig. 7). Se presentan valores de salinidad entre 23.3 a 30.9 UPS con temperaturas de 22.7 a 27.9 °C, concentraciones de oxígeno disuelto entre 3.4-4.9 mg/l y de 1.7-10.1 m de profundidad.



Figura 9. Distribución de la abundancia de *Sparisoma viride* en el Sistema Arrecifal de Akumal, Quintana Roo. Época de Secas, Lluvias y Nortes.

Haemulon sciurus

Se registró un total de 2,324 individuos, los cuales constituyen el 7.4% del número total de individuos registrados en el sistema arrecifal. En secas se observa que en las estaciones 3, 8, 12 y 16 (bahía de Akumal y bahía Media Luna), se presentan las máximas densidades con valores de 0.1 y 0.2 ind/m². A su vez, en el arrecife anterior de la zona de Yal-Kú (estación 19) no se registraron organismos pertenecientes a esta especie (Tabla 19, Fig. 10). Por otra parte, la época de lluvias presentó la densidad más alta con valores de 0.1 y 0.2 ind/m² en la laguna arrecifal y plataforma arenosa de la bahía de Akumal (estaciones 9 y 12), así como en el arrecife anterior de Media Luna y la zona de Yal-Kú (estaciones 14 y 18). La densidad más baja se observó en la estación 13 (plataforma arenosa de la bahía Media Luna) con 0.003 ind/m² (Tabla 20, Fig. 10). Durante nortes, las abundancias más altas se obtuvieron en Akumal (estaciones 3, 4, 5 y 9) y Media Luna (estaciones 14 y 16) con valores fluctuantes de 0.1 a 0.5 ind/m². Las estaciones 1, 2, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 15, 17-20 (Akumal, Media Luna y zona de Yal-Kú) presentaron densidades desde 0.01 ind/m² hasta 0.04 ind/m² (Tabla 21, Fig. 10).

La mayor densidad se registró en el mes de octubre (nortes) con un valor de 0.1 ind/m², por otra parte en el mes de junio (lluvias) se presentó la menor densidad con 0.01 ind/m². En la época de secas se registraron valores de 0.02 ind/m² y 0.05 ind/m² en los meses de febrero y abril, respectivamente (Tabla 11, Fig. 6). El análisis estadístico de la densidad no mostró diferencias significativas entre las épocas climáticas (Tabla 12).

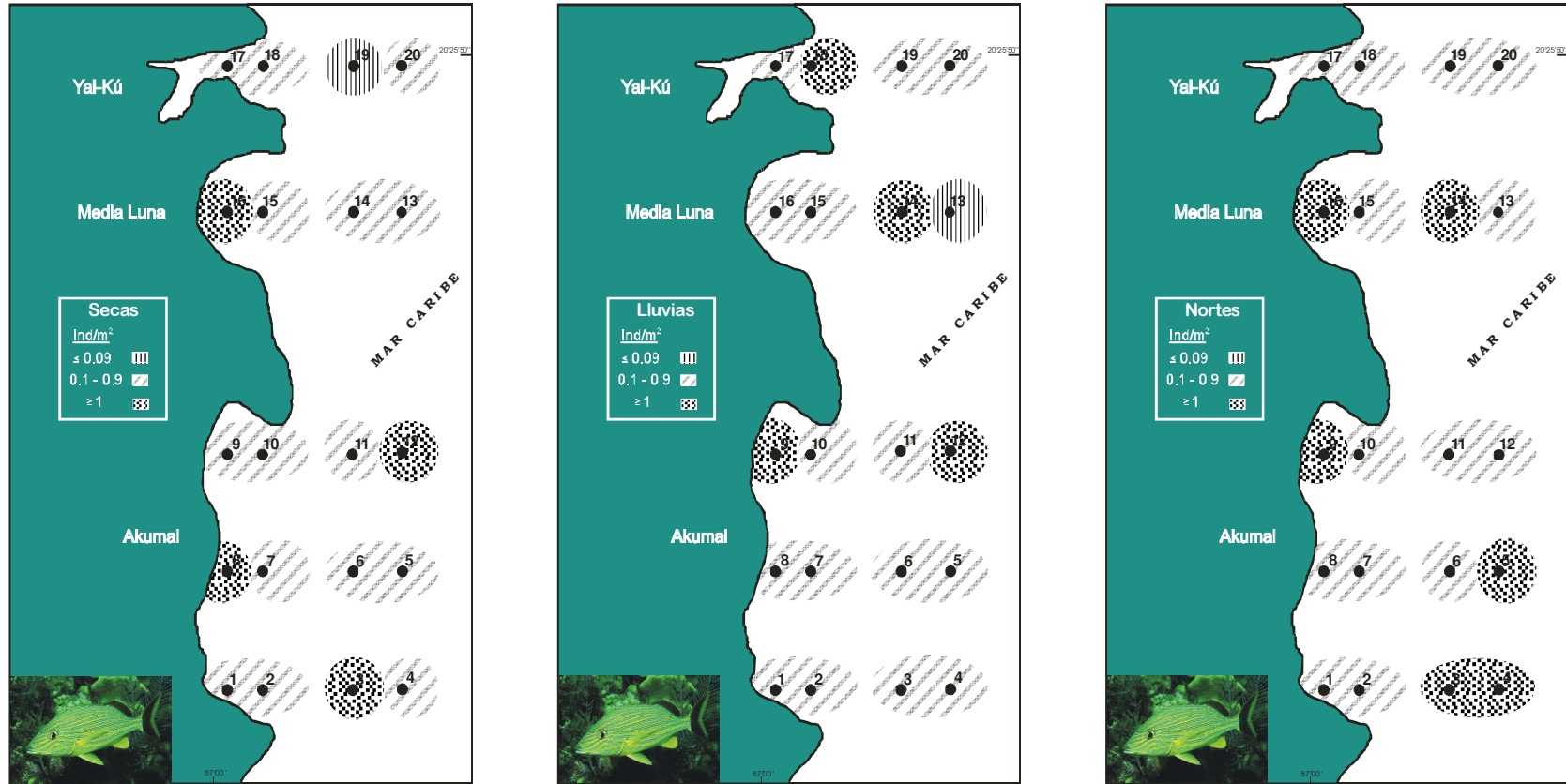


Figura 10. Distribución de la abundancia de *Haemulon sciurus* en el Sistema Arrecifal de Akumal, Quintana Roo. Época de Secas, Lluvias y Nortes.

Esta especie presenta anualmente las menores densidades en el arrecife posterior de la bahía de Akumal con 0.01 ind/m² (estaciones 7 y 10). La mayor densidad se observa en la parte arrecifal anterior de la bahía Media Luna, con 0.3 ind/m² (estación 14; Fig. 7). En salinidades entre 30.8-36.9 UPS, temperaturas de 22.7-23.6 °C, oxígeno disuelto entre 3.4-4.2 mg/l y profundidades de 1.7-3.7 m.

Abudefduf saxatilis

Se registró un total de 2,235 individuos, los cuales constituyen el 7.1% del número total de individuos registrados en el sistema arrecifal. Durante la época de secas, el valor más alto se presentó en la zona de Yal-Kú (estaciones 17 y 18) y la parte arrecifal anterior de la bahía Media Luna (estaciones 13 y 14), con valores entre 0.1 y 0.2 ind/m², mientras que en la estación 12 (plataforma arenosa de bahía Akumal) se presentó la menor densidad con 0.004 ind/m² (Tabla 22, Fig. 11). En lluvias la estación 17 (Yal-Kú) presentó la mayor densidad con 0.3 ind/m², por otra parte, las estaciones 2, 3, 7 y 13 (bahía Akumal y Media Luna) tuvieron valores \leq 0.001 ind/m² (Tabla 23, Fig. 11). La densidad más alta para la época de nortes se observó en la parte arrecifal anterior y posterior de todo el sistema, así como en la zona de Yal-Kú (estaciones 3, 6, 7, 8, 10, 11, 14, 15, 17, 18 y 19) con valores de 0.1-0.3 ind/m². La laguna arrecifal y la plataforma arenosa de todo el sistema arrecifal (estaciones 1, 2, 4, 5, 9, 12, 13, 16 y 20) presentaron densidades fluctuantes entre 0.01-0.05 ind/m² (Tabla 24, Fig. 11).

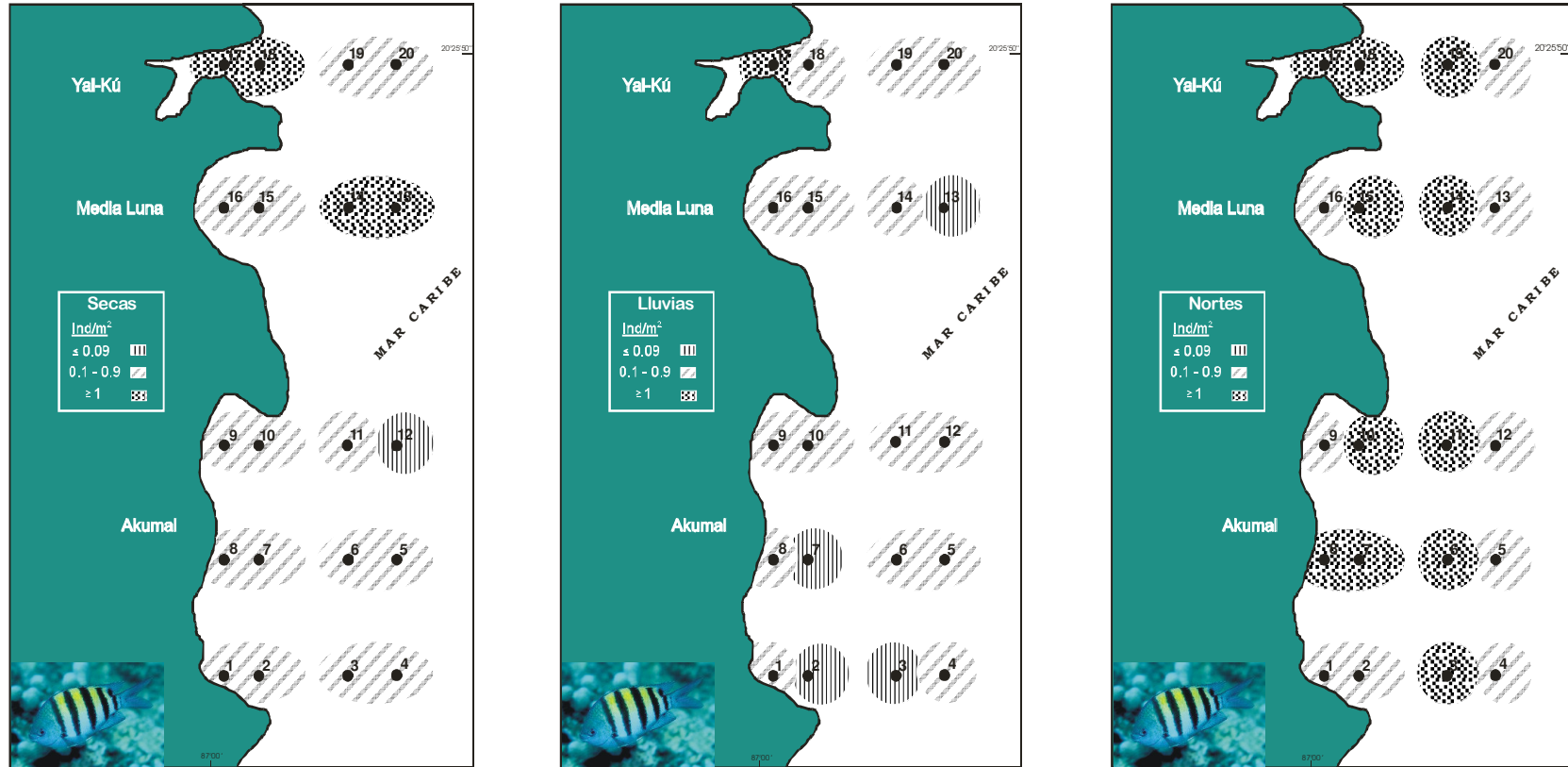


Figura 11. Distribución de la abundancia de *Abudedefduf saxatilis* en el Sistema Arrecifal de Akumal, Quintana Roo. Época de Secas, Lluvias y Nortes.

Durante la época de nortes se registró el valor más alto de densidad con 0.07 ind/m², mientras que en la época de secas y lluvias se presentó el mismo valor con 0.03 ind/m². No obstante, el mes de febrero presentó un valor de 0.05 ind/m² (Tabla 11, Fig. 6). El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre las épocas climáticas (Tabla 12).

Anualmente esta especie presenta las menores densidades en la bahía de Akumal con 0.01 ind/m² (estaciones 1, 2, 5, 9 y 12). La mayor densidad se observa en la zona de Yal-Kú, con 0.2 ind/m² (estación 17) (Fig. 7). En salinidades entre 23.3-24.0 UPS, temperaturas de 27.2-27.9 °C, oxígeno disuelto entre 3.9-4.9 mg/l y profundidades de 1.9-2.5 m.

Acanthurus bahianus

Un total de 1,796 individuos fueron registrados para el sistema, representando el 5.7% del total. En secas se observa que en las estaciones 5, 6, 8, 14 y 19 (arrecife anterior y plataforma arenosa de todo el sistema), se presentan las máximas densidades con 0.1 ind/m². A su vez, en la laguna arrecifal, arrecife anterior y algunas zonas de la plataforma arenosa (estaciones 1, 2, 3, 4, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18 y 20) la densidad osciló entre 0.02 a 0.04 ind/m² (Tabla 25, Fig. 12). Por otra parte, la época de lluvias presentó la densidad más alta de 0.1 ind/m² en la laguna arrecifal de la bahía de Akumal (estación 10), mientras que las densidades más bajas se observaron en las estaciones 5, 14, 15 y 16 (plataforma arenosa de la

bahía Akumal y bahía Media Luna) con valores ≤ 0.004 ind/m² (Tabla 26, Fig. 12). Durante nortes, las abundancias más altas se obtuvieron en la zona de Yal-Kú (estación 17), laguna arrecifal y arrecife anterior de todo el sistema (estaciones 2, 3, 8, 10, 11, 14, 15 y 19) con valores ≥ 0.1 ind/m². Las estaciones 1, 4, 5, 6, 7, 9, 12, 13, 16, 18 y 20 (laguna arrecifal, arrecife posterior y anterior, zona de Yal-Kú y plataforma arenosa) presentaron densidades desde 0.01 ind/m² hasta 0.05 ind/m² (Tabla 27, Fig. 12).

El valor de la densidad estimado para el mes de febrero (secas) y agosto (lluvias) fue de 0.03 ind/m², el cual fue menor, comparado con la época de lluvias en donde se registró 0.06 ind/m². El mínimo valor se registró en el mes de junio (Lluvias) con 0.01 ind/m² (Tabla 11, Fig. 6). La densidad en las épocas climáticas fue significativamente diferente (Tabla 12).

Las densidades anuales más bajas se observan en las estaciones 7, 12, 16 y 18 con 0.02 ind/m² (laguna arrecifal, arrecife posterior y plataforma arenosa del sistema). Las densidades más altas se presentan en la estación 10, 11 y 14 con 0.1 ind/m² (arrecife posterior y anterior de la bahía Akumal y zona arrecifal frontal de la bahía Media Luna; Fig. 7). Se presentan valores de salinidad entre 30.4 a 30.9 UPS con temperaturas de 22.7 a 23.6 °C, concentraciones de oxígeno disuelto entre 3.4-4.2 mg/l y de 1.7-3.7 m de profundidad.

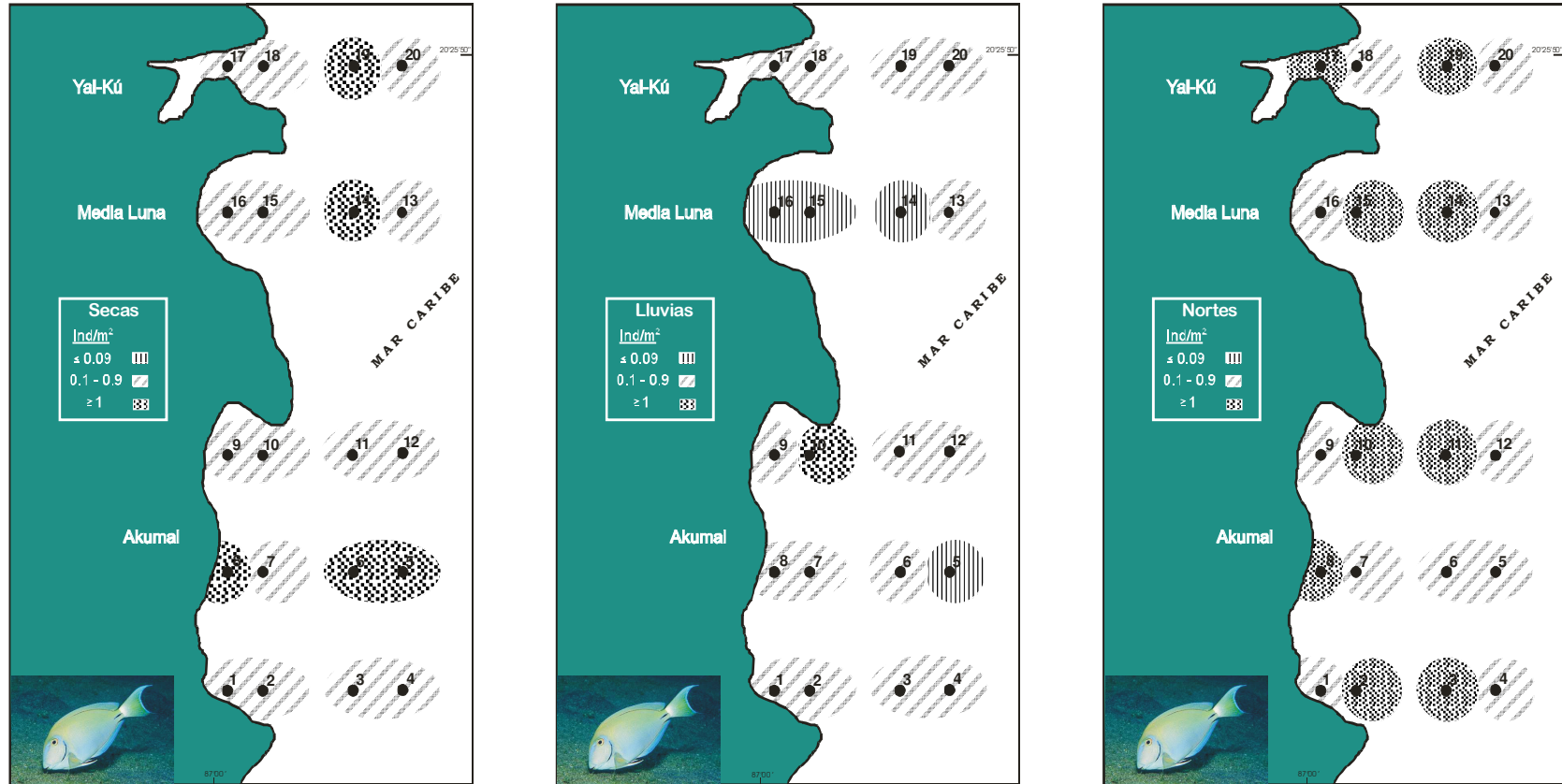


Figura 12. Distribución de la abundancia de *Acanthurus bahianus* en el Sistema Arrecifal de Akumal, Quintana Roo. Época de Secas, Lluvias y Nortes.

Haemulon flavolineatum

En el sistema arrecifal se registraron 1,881 individuos, constituyendo el 6.0% del total de individuos observados. Durante la época de secas, el valor más alto se presentó en la zona lagunar, arrecife anterior y posterior de Akumal, así como en la laguna arrecifal de bahía Media Luna y Yal-Kú (estaciones 3, 9, 10, 11, 16 y 17) con valores de 0.1 y 0.4 ind/m², mientras que en las estaciones 1, 6 y 14 (laguna arrecifal de Akumal y arrecife frontal de Akumal y Media Luna) se presentaron las menores densidades con valores ≤ 0.004 ind/m² (Tabla 28, Fig. 13). En la época de lluvias las estaciones 9, 12 (laguna arrecifal y plataforma arenosa de Akumal) y 17 (Laguna de Yal-Kú) presentaron las mayores densidades con 0.1 ind/m², por otra parte, las estaciones 2, 16 y 19 (bahía Akumal, Media Luna y área de Yal-Kú) tuvieron valores ≤ 0.004 ind/m² (Tabla 29, Fig. 13). La densidad más alta para la época de nortes se observó en la bahía de Akumal y en la laguna de Yal-Kú (estaciones 2, 4, 5, 9, 17 y 18) con 0.1 ind/m². La laguna arrecifal de Akumal (estación 1) y el arrecife frontal de Yal-Kú (estación 19) presentaron los valores más bajos de abundancia con 0.001 ind/m² (Tabla 30, Fig. 13).

Durante la época de secas (febrero) se presentó el valor más alto de densidad con 0.08 ind/m², mientras que en la época de lluvias (junio) se presentó el valor mínimo con 0.01 ind/m². No obstante, el mes de agosto (lluvias), octubre y diciembre (nortes) presentaron el mismo valor de 0.04 ind/m² (Tabla 31, Fig. 14). La densidad entre las épocas climáticas no fue significativamente diferente (Tabla 32).

Tabla 28. Distribución de la Abundancia Numérica y Frecuencia de *Haemulon flavolineatum* en Akumal, Q. Roo. Epoca de Secas.

Especies	E1	E2	E-3	E-4	E-5	E-6	E7	E8	E9	E10	E-11	E-12	E-13	E-14	E15	E16	E17	E18	E-19	E-20	Total	N	F		
	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	(%)	(%)	
<i>Haemulon flavolineatum</i>	3	9	98	18	32	3	13	26	320	44	42	22	29	34	54	84	4	4	11	850	100	95			
TOTAL DE INDIVIDUOS	3	9	98	18	32	3	13	26	320	44	42	22	29	0	34	54	84	4	4	11	850				
DENSIDAD	0.004	0.01	0.1	0.02	0.04	0.004	0.02	0.03	0.4	0.1	0.1	0.03	0.04	0	0.04	0.1	0.1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.1			
AREA MUESTREADA	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	16000		

Tabla 29. Distribución de la Abundancia Numérica y Frecuencia de *Haemulon flavolineatum* en Akumal, Q. Roo. Epoca de Lluvias.

Especies	E1	E2	E-3	E-4	E-5	E-6	E7	E8	E9	E10	E-11	E-12	E-13	E-14	E15	E16	E17	E18	E-19	E-20	Total	N	F		
	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	(%)	(%)	
<i>Haemulon flavolineatum</i>	31	3	17	28	9	11	17	22	87	5	4	60	21	31	11	83	8	2	5	455	100	95			
TOTAL DE INDIVIDUOS	31	3	17	28	9	11	17	22	87	5	4	60	21	31	11	0	83	8	2	5	455				
DENSIDAD	0.04	0.004	0.02	0.04	0.01	0.01	0.02	0.03	0.1	0.01	0.01	0.1	0.03	0.04	0.01	0	0.1	0.01	0.003	0.01	0.03				
AREA MUESTREADA	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	16000		

Tabla 30. Distribución de la Abundancia Numérica y Frecuencia de *Haemulon flavolineatum* en Akumal, Q. Roo. Epoca de Nortes.

Especies	E1	E2	E-3	E-4	E-5	E-6	E7	E8	E9	E10	E-11	E-12	E-13	E-14	E15	E16	E17	E18	E-19	E-20	Total	N	F		
	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	(%)	(%)	
<i>Haemulon flavolineatum</i>	1	44	11	71	52	20	37	27	54	16	8	25	30	35	14	10	46	44	1	30	576	100	100		
TOTAL DE INDIVIDUOS	1	44	11	71	52	20	37	27	54	16	8	25	30	35	14	10	46	44	1	30	576				
DENSIDAD	0.001	0.1	0.01	0.09	0.07	0.03	0.05	0.03	0.1	0.02	0.01	0.03	0.04	0.04	0.02	0.01	0.1	0.06	0.001	0.04	0.04				
AREA MUESTREADA	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	16000		

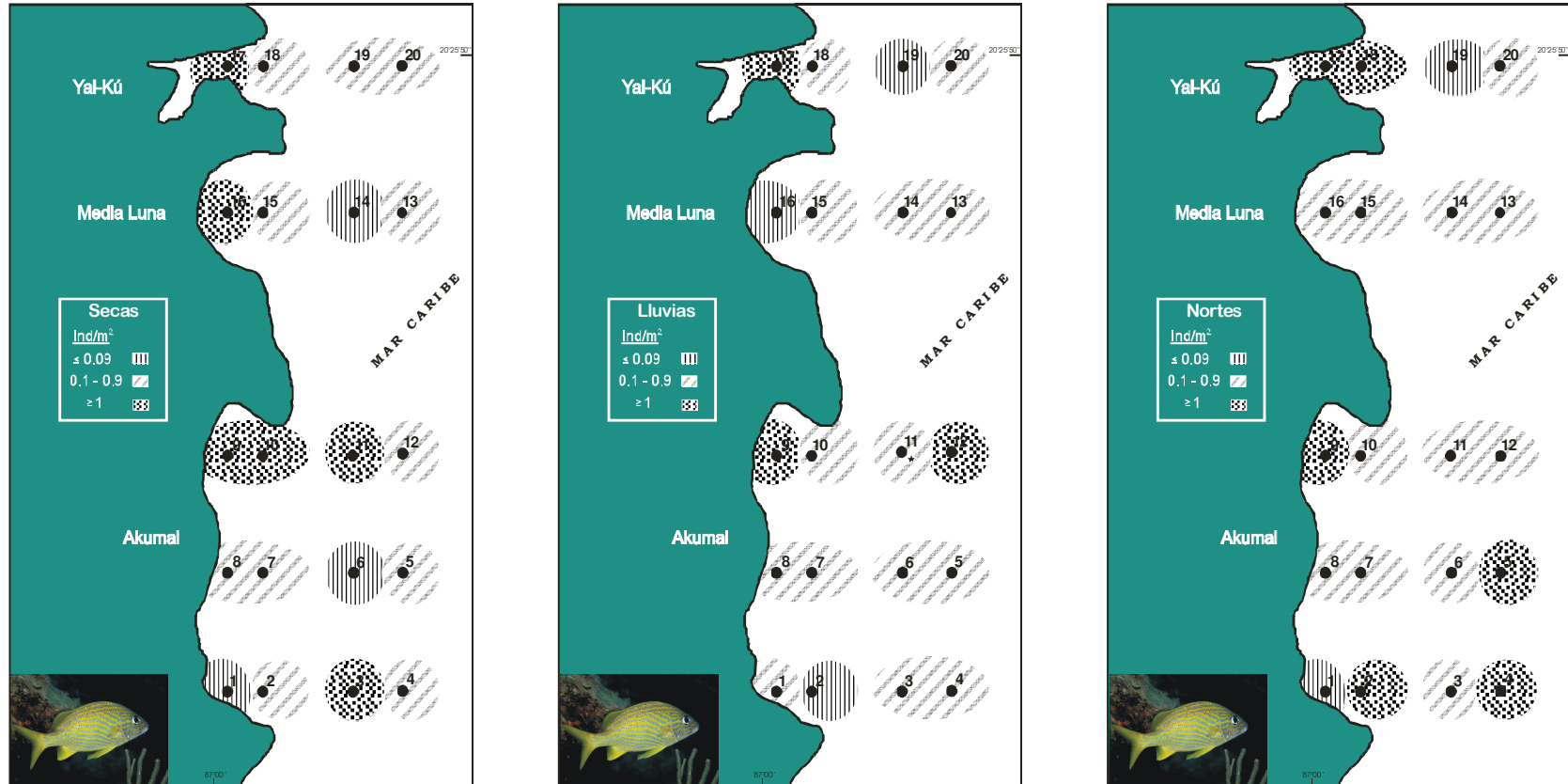


Figura 13. Distribución de la abundancia de *Haemulon flavolineatum* en el Sistema Arrecifal de Akumal, Quintana Roo. Época de Secas, Lluvias y Nortes.

Tabla 31. Densidad de las especies de peces típicas en las tres épocas climáticas.

Especies	Densidad (ind/m ²)					
	Secas		Lluvias		Nortes	
	Febrero	Abril	Junio	Agosto	Octubre	Diciembre
<i>Haemulon flavolineatum</i>	0.08	0.03	0.01	0.04	0.04	0.04
<i>Stegastes adustus</i>	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.05
<i>Thalassoma bifasciatum</i>	0.03	0.05	0.002	0.03	0.03	0.03
<i>Halichoeres radiatus</i>	0.01	0.002	0.001	0.04	0.03	0.02
<i>Scarus taeniopterus</i>	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03
<i>Microspathodon chrysurus</i>	0.01	0.01	0.001	0.01	0.01	0.02

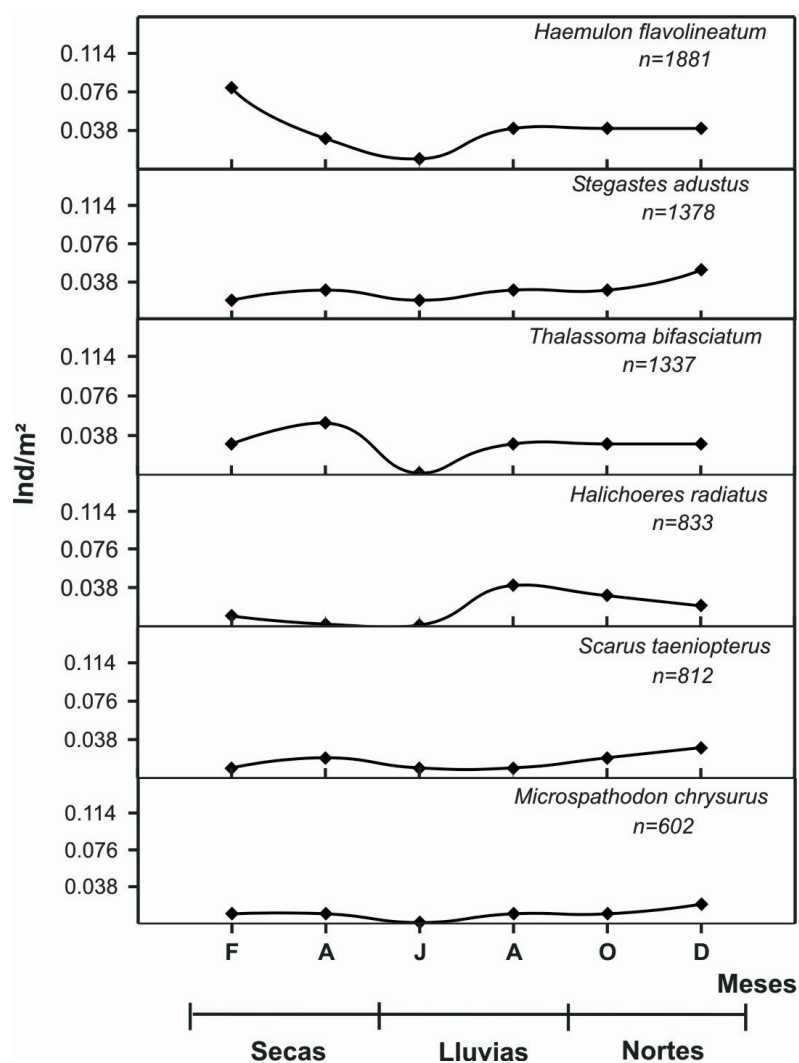


Figura 14. Comportamiento anual de la densidad numérica de las especies típicas del sistema arrecifal de Akumal.

Tabla 32. Análisis estadístico de la densidad de cada especie típica, con los promedios para cada una de las épocas climáticas del Sistema Arrecifal de Akumal, Quintana Roo.

	Secas	Lluvias	Nortes	G.L.	Estadístico	Significancia
Haemulon flavolineatum	0.053	0.028	0.036	2/57	F = 0.42	P = 0.661
Stegastes adustus		0.024	0.039	1	H = 6.33	P = 0.012
Thalassoma bifasciatum	0.036		0.032	1	H = 1.29	P = 0.255
Halichoeres radiatus		0.031	0.055	1/38	F = 1.54	P = 0.222

De manera anual la especie presenta la menor densidad en el área arrecifal anterior en la zona de Yal-Kú con 0.003 ind/m² (estación 19). Mientras que la mayor densidad se observa en la estación 9, con 0.2 ind/m² (laguna Arrecifal de la bahía de Akumal; Fig. 15). Presentándose salinidades de 34.8 a 36.9 UPS, temperaturas entre 27.2-27.9 °C, oxígeno disuelto de 3.9-4.9 mg/l y profundidades entre 1.9-2.5 m.

Stegastes adustus

En el sistema arrecifal se registraron 1,378 individuos, constituyendo el 4.4% del total de individuos observados. En secas *S. adustus*, no resultó ser una especie típica debido a su baja abundancia en número. Sin embargo, las densidades más altas en la época de lluvias se observaron principalmente en la línea de costa de la bahía Akumal (estaciones 1 y 8) con valores de 0.1 ind/m², mientras que en la plataforma arenosa, arrecife anterior, posterior y laguna arrecifal del sistema (2-7 y 9-20) presentaron las menores densidades oscilando entre 0.01 y 0.05 ind/m² (Tabla 33, Fig. 16). En nortes, las estaciones 6, 7, 8 y 20 (zona anterior, posterior, laguna arrecifal de Akumal y plataforma arenosa de Yal-Kú) presentaron la mayor densidad con 0.1 ind/m². A su vez, las estaciones 1-5 y 9-19 (Bahía de Akumal, Media Luna y Yal-Kú) la densidad fluctuó entre 0.02 y 0.05 ind/m² (Tabla 34, Fig. 16).

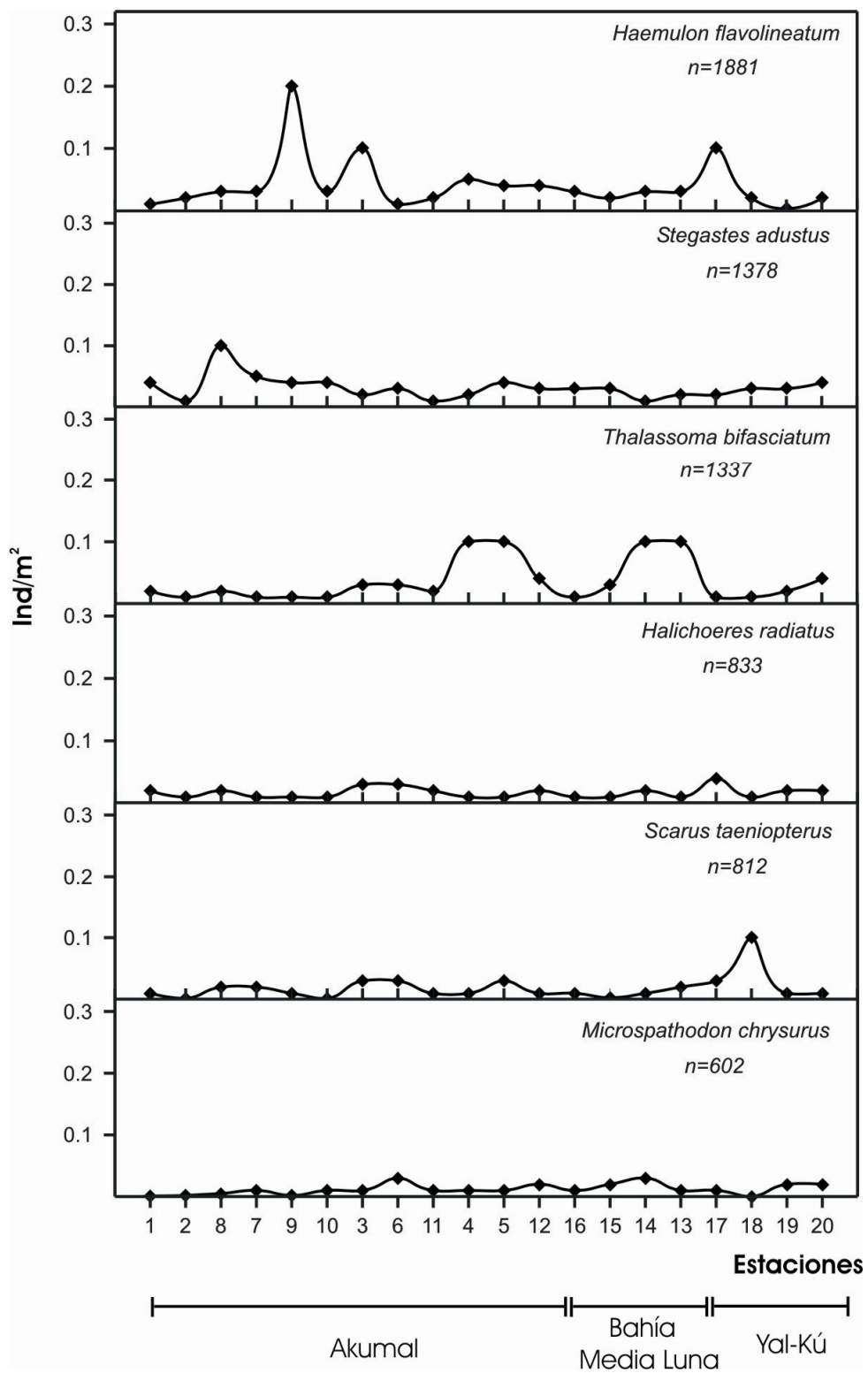


Figura 15. Comportamiento anual de la densidad numérica en cada estación de muestreo de las especies típicas del sistema arrecifal de Akumal, Bahía Media Luna y Yal-Kú.

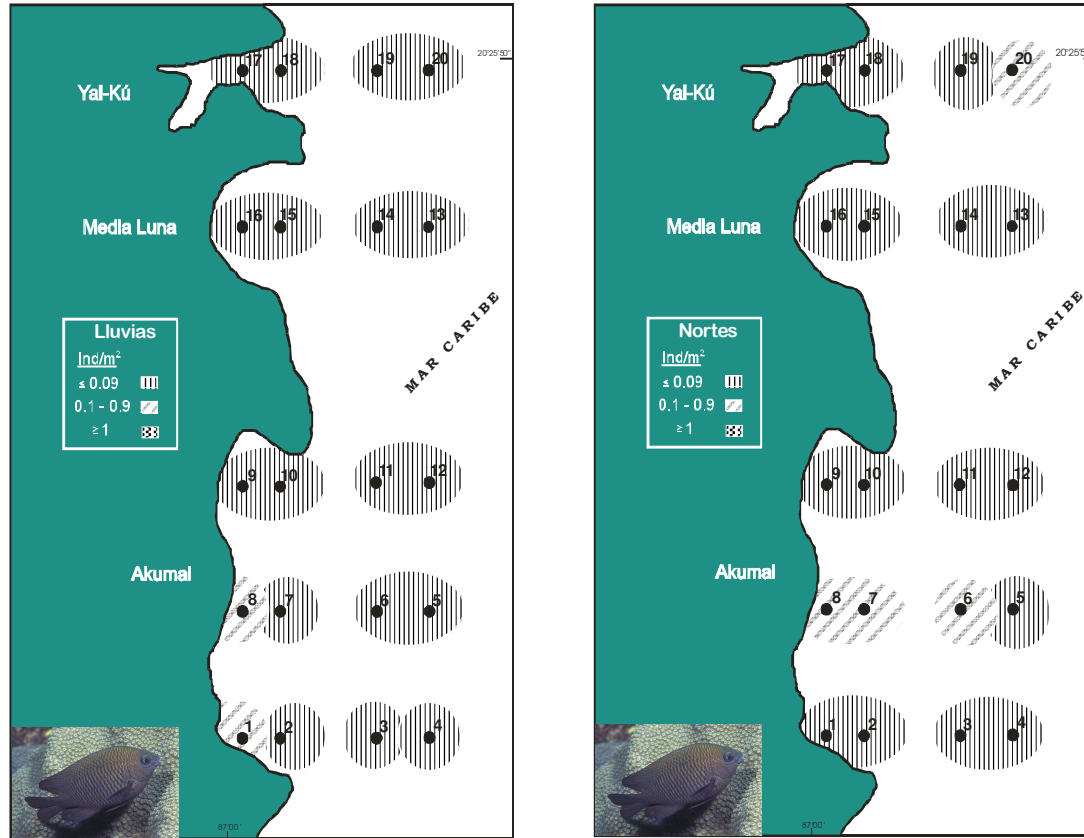


Figura 16. Distribución de la abundancia de *Stegastes adustus* en el Sistema Arrecifal de Akumal, Quintana Roo. Época de Lluvias y Nortes.

Durante la época de nortes se registró el valor más alto de densidad con 0.05 ind/m², mientras que en la época de secas y lluvias se presentó el mismo valor con 0.02 ind/m² (Tabla 31, Fig. 14). El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre las dos épocas climáticas (Tabla 32).

La especie presenta anualmente la menor densidad con 0.01 ind/m² en las estaciones 2, 11 y 14 (bahía de Akumal y Media luna). Mientras que la mayor densidad se observa en la estación 8, con 0.1 ind/m² (laguna Arrecifal de la bahía de Akumal; Fig. 15). Presentándose salinidades de 34.8 a 36.9 ups, temperaturas entre 27.2-27.9 °C, oxígeno disuelto de 3.9-4.9 mg/l y profundidades entre 1.9-2.5 m.

Thalassoma bifasciatum

Se registró un total de 1,337 individuos, los cuales constituyen el 4.3% del número total de individuos registrados en el sistema arrecifal. En la época de lluvias *T. bifasciatum* no obtuvo la categoría de especie típica debido a su baja abundancia en número. En secas se observa que en la zona profunda de Akumal y bahía Media Lunas (estaciones 4, 5, 12, 13 y 15), se presentan las máximas densidades con valores de 0.1 ind/m². A su vez, en el arrecife anterior de la línea de costa de Media Luna y la zona de Yal-Kú (estación 16 y 19) no se registraron organismos pertenecientes a esta especie (Tabla 35, Fig. 17). Por otra parte, la época de nortes presentó la densidad más alta con valores de 0.1 ind/m² en la plataforma arenosa de la bahía de Akumal, Media Luna y Yal-Kú (estaciones 4, 5, 13 y 20). En la estación 9 (línea de costa de la bahía Akumal) no se obtuvo ningún registro visual de esta especie (Tabla 36, Fig. 17).

Tabla 35. Distribución de la Abundancia Numérica y Frecuencia de *Thalassoma bifasciatum* en Akumal, Q. Roo. Epoca de Secas.

Especies	E1	E2	E-3	E-4	E-5	E-6	E7	E8	E9	E10	E-11	E-12	E-13	E-14	E15	E16	E17	E18	E-19	E-20	Total	N	F		
	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	(%)	(%)	
<i>Thalassoma bifasciatum</i>	21	11	26	48	83	45	18	16	10	16	20	40	77	25	65			5	28	29	583	100	90		
TOTAL DE INDIVIDUOS	21	11	26	48	83	45	18	16	10	16	20	40	77	25	65	0	0	5	28	29	583				
DENSIDAD	0.03	0.01	0.03	0.1	0.1	0.06	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.1	0.1	0.03	0.1	0	0	0.01	0.04	0.04	0.04				
AREA MUESTREADA	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	16000	

Tabla 36. Distribución de la Abundancia Numérica y Frecuencia de *Thalassoma bifasciatum* en Akumal, Q. Roo. Epoca de Nortes.

Especies	E1	E2	E-3	E-4	E-5	E-6	E7	E8	E9	E10	E-11	E-12	E-13	E-14	E15	E16	E17	E18	E-19	E-20	Total	N	F		
	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	(%)	(%)	
<i>Thalassoma bifasciatum</i>	13	6	31	83	67	23	15	12		6	18	39	59	34	3	19	11	8	24	40	511	100	95		
TOTAL DE INDIVIDUOS	13	6	31	83	67	23	15	12	0	6	18	39	59	34	3	19	11	8	24	40	511				
DENSIDAD	0.02	0.01	0.04	0.1	0.1	0.03	0.02	0.02	0	0.01	0.02	0.05	0.1	0.04	0.004	0.02	0.01	0.01	0.03	0.1	0.03				
AREA MUESTREADA	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	16000	

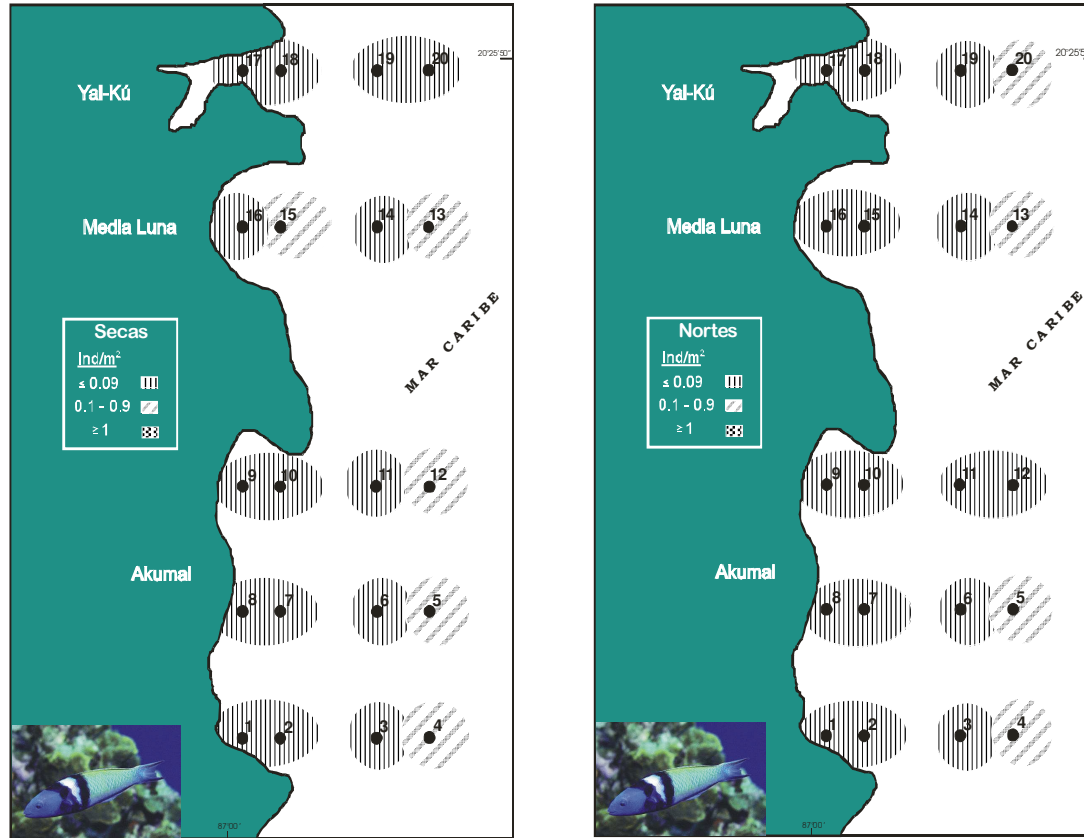


Figura 17. Distribución de la abundancia de *Thalassoma bifasciatum* en el Sistema Arrecifal de Akumal, Quintana Roo. Época de Secas y Nortes.

El valor de la densidad estimado para el mes de Abril (secas) fue de 0.05 ind/m², el cual fue mayor, comparado con la época de lluvias en donde se registró 0.002 ind/m² (Tabla 31, Fig. 14). La densidad entre las épocas climáticas fue estadísticamente diferente (Tabla 32).

Anualmente esta especie presenta las menores densidades en las estaciones 2, 7, 9, 10, 16, 17 y 18 con 0.01 ind/m² (bahía de Akumal, Media Luna y zona de Yal-Kú). La mayor densidad se observa en la parte arenosa de la bahía Akumal y Media Luna, con 0.1 ind/m² (estaciones 4, 5, 13 y 14; Fig. 15). En salinidades entre 30.4-30.9 ups, temperaturas de 22.7-23.6 °C, oxígeno disuelto entre 3.4-4.2 mg/l y profundidades de 1.7-10.1 m.

Halichoeres radiatus

Se registró un total de 833 individuos, los cuales constituyen el 2.7% del número total de individuos registrados en el sistema arrecifal. En la época de secas *H. radiatus*, no resultó ser una especie típica debido a su baja abundancia en número. Las densidades más altas en la época de lluvias se observó en el arrecife anterior de la bahía Akumal (estación 6) con 0.1 ind/m², mientras que en el resto de las estaciones 1, 2, 3, 4, 5, 7-20 (plataforma arenosa, laguna, parte anterior y posterior arrecifal) se presentaron las menores densidades oscilando entre 0.003 y 0.05 ind/m² (Tabla 37, Fig. 18). En nortes, las estación 17 (zona de Yal-Kú) presentó la mayor densidad con 0.1 ind/m². El resto del sistema arrecifal (estaciones 1-16, 18, 19 y 20) presentó densidades fluctuantes entre 0.01-0.04 ind/m² (Tabla 38, Fig. 18).

Tabla 37. Distribución de la Abundancia Numérica y Frecuencia de *Halichoeres radiatus* en Akumal, Q. Roo. Epoca de Lluvias.

Especies	E1	E2	E-3	E-4	E-5	E-6	E7	E8	E9	E10	E-11	E-12	E-13	E-14	E15	E16	E17	E18	E-19	E-20	Total	N	F	
	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	(%)	(%)
<i>Halichoeres radiatus</i>	25	4	36	9	10	68	3	7	2	12	21	16	19	28	14	7	21	2	23	8	335	100	100	
TOTAL DE INDIVIDUOS	25	4	36	9	10	68	3	7	2	12	21	16	19	28	14	7	21	2	23	8	335			
DENSIDAD	0.03	0.01	0.05	0.01	0.01	0.1	0.004	0.01	0.003	0.02	0.03	0.02	0.02	0.04	0.02	0.01	0.03	0.003	0.03	0.03	0.01	0.02		
ÁREA MUESTREADA	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	16000	

Tabla 38. Distribución de la Abundancia Numérica y Frecuencia de *Halichoeres radiatus* en Akumal, Q. Roo. Epoca de Nortes.

Especies	E1	E2	E-3	E-4	E-5	E-6	E7	E8	E9	E10	E-11	E-12	E-13	E-14	E15	E16	E17	E18	E-19	E-20	Total	N	F	
	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	(%)	(%)
<i>Halichoeres radiatus</i>	4	12	22	9	9	14	24	34	23	14	17	16	6	16	7	15	63	27	22	27	381	100	100	
TOTAL DE INDIVIDUOS	4	12	22	9	9	14	24	34	23	14	17	16	6	16	7	15	63	27	22	27	381			
DENSIDAD	0.01	0.02	0.03	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.1	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02		
ÁREA MUESTREADA	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	16000	

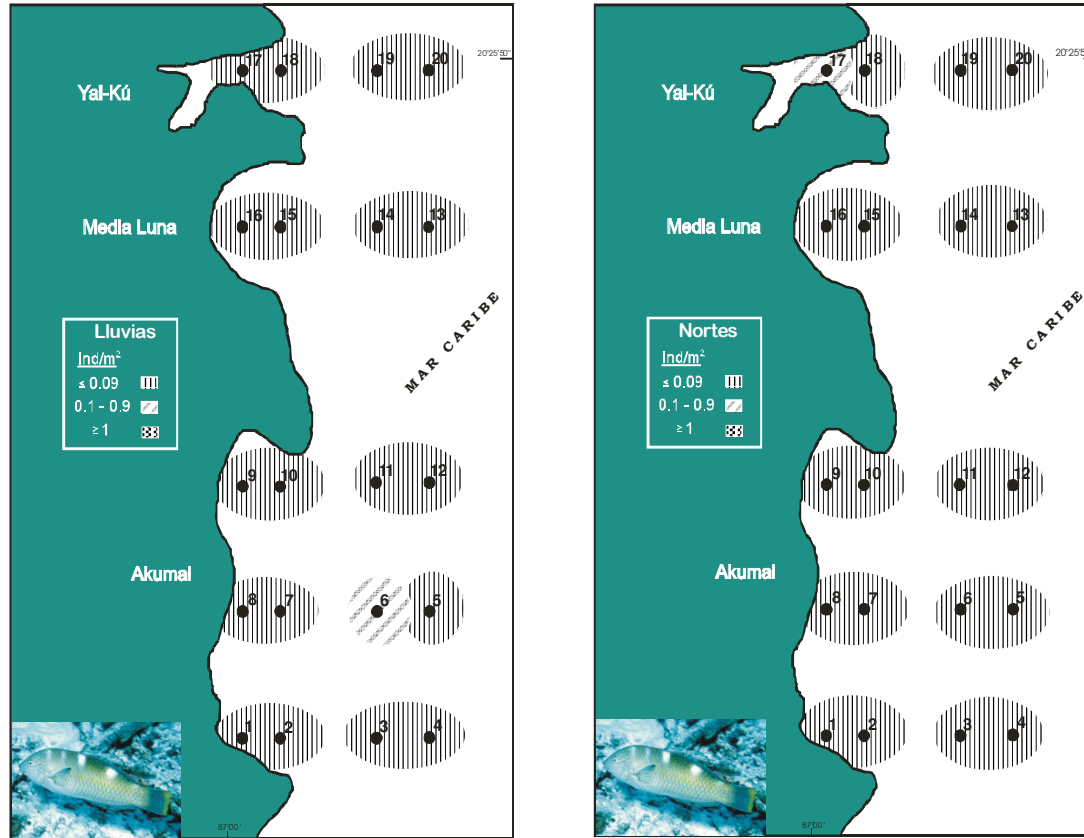


Figura 18. Distribución de la abundancia de *Halichoeres radiatus* en el Sistema Arrecifal de Akumal, Quintana Roo. Época de Lluvias y Nortes.

La densidad mínima y máxima se registró en la época de lluvias (junio y Agosto) con 0.001 y 0.04 ind/m², respectivamente. El análisis estadístico de la densidad fue significativamente diferente en las dos épocas climáticas (Tabla 32).

De forma anual esta especie presenta las menores densidades en las estaciones 2, 4, 5, 7, 9, 10, 13, 15, 16 y 18 con 0.01 ind/m² (bahía de Akumal, bahía Media Luna y zona de Yal-kú). La mayor densidad se observa en la zona de Yal-Kú, con 0.04 ind/m² (estación 17; Fig. 15). En salinidades entre 23.3-24.0 ups, temperaturas de 27.2-27.9 °C, oxígeno disuelto entre 3.9-4.9 mg/l y profundidades de 1.9-2.5 m.

Scarus taeniopterus

En el sistema arrecifal se registraron 812 individuos, constituyendo el 2.6% del total de individuos observados. En las épocas climáticas la especie *S. taeniopterus*, no obtuvo la categoría de especie típica debido a su baja abundancia en número.

Anualmente la especie presenta las menores densidades con 0.002 ind/m² en las estaciones 2 y 10 (arrecife posterior de la bahía de Akumal). Mientras que la mayor densidad se observa en la estación 18 con 0.1 ind/m² (Yal-Kú; Fig. 15). Presentándose salinidades de 23.3 a 24.0 ups, temperaturas entre 27.2-27.9 °C, oxígeno disuelto de 3.9-4.9 mg/l y profundidades entre 1.9-2.5 m.

Microspathodon chrysurus

Un total de 602 individuos fueron registrados para el sistema, representando el 1.9% del total. En las tres épocas climáticas *M. chrysurus*, no obtuvo la categoría de especie típica debido a su baja abundancia en número.

La densidad anual más baja se observa en la estación 18 con 0.0004 ind/m² (Yal-Kú). Las densidades más altas se presentan en la estación 6 y 14 con 0.03 ind/m² (arrecife anterior de la bahía Akumal y Media Luna; Fig. 15). Se presentan valores de salinidad entre 30.4 a 30.9 ups con temperaturas de 22.7 a 23.6 °C, concentraciones de oxígeno disuelto entre 3.4-4.2 mg/l y de 1.7-3.7 m de profundidad.

Correlación de parámetros ambientales con la abundancia de cada especie típica

En la época de secas existen correlaciones ($\alpha \leq 0.05$) con la salinidad y la abundancia de *Abudefduf saxatilis* ($r = -0.5448$), *Acanthurus chirurgus* ($r = -0.5218$) y *Acanthurus coeruleus* ($r = -0.7349$; Tabla 39). La abundancia de *Haemulon flavolineatum* estuvo asociada a la salinidad en lluvias ($r = 0.6073$) y en la época de nortes *Acanthurus coeruleus* ($r = 0.5308$) y *Halichoeres radiatus* ($r = -0.5099$). Anualmente, las correlaciones no fueron significativas (Tabla 39).

En secas no se registraron correlaciones significativas con la temperatura, sin embargo en la época de lluvias la abundancia de *Haemulon flavolineatum* estuvo asociada con una $r = 0.5757$ (Tabla 40). A su vez, en nortes existe una correlación con la abundancia de *Acanthurus coeruleus* ($r = 0.5520$). De manera anual la temperatura se asoció con la abundancia de *Acanthurus chirurgus* ($r = -0.4867$), *Acanthurus coeruleus* ($r = -0.5723$), *Microspathodon chrysurus* ($r = -0.6601$) y *Thalassoma bifasciatum* ($r = -0.6693$), teniendo una relación inversa a un nivel de significancia de $\alpha \leq 0.05$ (Tabla 40).

Tabla 39. Correlación entre la salinidad (UPS) y la abundancia de cada especie típica en el sistema arrecifal coralino de Akumal, Quintana Roo.

	Salinidad												
	Abudefduf saxatilis	Acanthurus bahianus	Acanthurus chirurgus	Acanthurus coeruleus	Haemulon flavolineatum	Haemulon scirtus	Haliptoeres radiatus	Microspathodon chrysurus	Scarus taeniopterus	Sparisoma viride	Stegastes adustus	Thalassoma bilineatum	
Secas	-0.544851	0.281193	0.521879	0.734918	0.162836	0.260124	-0.331371		-0.131739	0.242039	0.101007	-0.079633	
Lluvias	0.087495	-0.162805	-0.120437	-0.285887	0.607321	0.21138	-0.331371		0.242039	0.101007	0.101007		
Nortes	-0.179481	0.246595	0.303974	0.530877	-0.250649	0.187419	-0.509936		-0.294093	-0.186617	0.083493	0.247564	
Anual	-0.421472	0.00106	0.111944	0.311331	0.040651	0.192032	-0.202911	0.042139	-0.298386	-0.364554	0.339952	0.02251	

Tabla 40. Correlación entre la temperatura (°C) y la abundancia de cada especie típica en el sistema arrecifal coralino de Akumal, Quintana Roo.

	Temperatura												
	Abudefduf saxatilis	Acanthurus bahianus	Acanthurus chirurgus	Acanthurus coeruleus	Haemulon flavolineatum	Haemulon scirtus	Haliptoeres radiatus	Microspathodon chrysurus	Scarus taeniopterus	Sparisoma viride	Stegastes adustus	Thalassoma bilineatum	
Secas	-0.050267	0.071508	0.192607	-0.132869	-0.346502	-0.323586	-0.36314		-0.2753	0.367802	0.078067	-0.315296	
Lluvias	0.2639	-0.080088	-0.191118	-0.432302	0.575726	0.269883	-0.36314		0.367802	0.050615	0.402104	-0.28033	
Nortes	0.201321	0.229793	0.241151	0.552099	-0.081803	0.139364	-0.093705		-0.373946	0.050615	0.402104	-0.28033	
Anual	0.107727	-0.199006	-0.486766	-0.572323	0.293942	0.105068	0.064534	-0.660127	0.22946	-0.107802	0.371702	-0.669379	

El oxígeno no presentó asociación alguna con la densidad de las especies típicas en la época secas. Por otra parte en lluvias el oxígeno se asoció con la abundancia de *Haemulon flavolineatum* con una $r= 0.6667$ y en nortes *Scarus taeniopterus* y *Thalassoma bifasciatum* mostraron una asociación con el oxígeno con una $r= 0.6516$ y $r= 0.6083$, respectivamente ($\alpha \leq 0.05$). Durante el ciclo anual no existió relación de la densidad de las especies con el oxígeno (Tabla 41).

En la época de secas y de lluvias la profundidad no presentó asociaciones significativas; sin embargo, en la época de nortes se obtuvieron dos correlaciones inversas con la profundidad con una $r= -0.4654$ y $r= -0.4917$ de la abundancia de *Abudefduf saxatilis* y *Acanthurus bahianus*, respectivamente. Al mismo tiempo *Thalassoma bifasciatum* registró una relación directa con la profundidad ($r= 0.7037$). Durante todo el año *Thalassoma bifasciatum* obtuvo otra correlación directa con una $r= 0.6861$ ($\alpha \leq 0.05$; Tabla 42).

Tabla 41. Correlación entre el oxígeno (mg/l) y la abundancia de cada especie típica en el sistema arrecifal coralino de Akumal, Quintana Roo.

	<i>Abudefduf saxatilis</i>	<i>Acanthurus bahianus</i>	<i>Acanthurus chirurgus</i>	<i>Acanthurus coeruleus</i>	<i>Haemulon flavolineatum</i>	<i>Haemulon scirtus</i>	<i>Halichoeres radiatus</i>	<i>Microspathodon chrysurus</i>	<i>Scarus taeniopterus</i>	<i>Sparisoma viride</i>	<i>Stegastes adustus</i>	<i>Thalassoma brasiacatum</i>
	r²											
Secas	0.077192	-0.101906	0.192276	-0.076843	0.076853	0.267616	-0.201043	-0.431466	0.283096	-0.345094	0.166311	0.066642
Lluvias	0.314737	-0.180863	-0.110761	-0.293392	0.666738	0.174791	0.032895	0.651642	0.256902	0.389459	0.066393	0.608362
Nortes	0.248836	-0.264352	0.367118	0.154296	0.192263	0.212213	0.196512	0.188468	0.240487	-0.148386	0.240487	-0.359789
Anual	0.111307	-0.194997	-0.257511	-0.408265	0.30925	0.188468	0.196512	-0.431466	0.283096	-0.148386	0.240487	-0.359789

Tabla 42. Correlación entre la profundidad (m) y la abundancia de cada especie típica en el sistema arrecifal coralino de Akumal, Quintana Roo.

	<i>Abudefduf saxatilis</i>	<i>Acanthurus bahianus</i>	<i>Acanthurus chirurgus</i>	<i>Acanthurus coeruleus</i>	<i>Haemulon flavolineatum</i>	<i>Haemulon scirtus</i>	<i>Halichoeres radiatus</i>	<i>Microspathodon chrysurus</i>	<i>Scarus taeniopterus</i>	<i>Sparisoma viride</i>	<i>Stegastes adustus</i>	<i>Thalassoma brasiacatum</i>
	Profundidad											
Secas	-0.34313	0.001512	-0.15573	0.273058	-0.110749	-0.020267	0.165284	0.343011	0.164906	0.275456	-0.146698	0.0911
Lluvias	0.308058	-0.338112	-0.122535	-0.3657	0.116839	-0.210439	-0.329164	0.261694	0.261694	0.119699	0.098794	0.703744
Nortes	-0.465403	-0.491758	-0.181307	0.087104	0.321541	0.150424	-0.329164	0.343011	0.164906	0.098794	0.185807	0.686194
Anual	-0.435972	-0.39064	-0.173915	-0.005591	0.069419	-0.053228	-0.286927	0.343011	0.164906	0.12939	0.132493	0.686194

Correlación de parámetros ambientales con la abundancia de las especies típicas

La mayoría de las correlaciones de la abundancia de las especies típicas en conjunto con los parámetros fisicoquímicos (salinidad, temperatura, oxígeno y profundidad) en la época de secas, lluvias, nortes y anual resultaron ser no significativas ($p > 0.05$), exceptuando una correlación significativa en la época de nortes, en donde la abundancia estuvo asociada con el oxígeno ($r = 0.474$) (Tabla 43).

Tabla 43. Correlaciones entre los parámetros fisicoquímicos y la abundancia de las especies típicas en el sistema arrecifal de Akumal, Quintana Roo.

	Salinidad (ups)	Temperatura (° C)	O ₂ (mg/l)	Profundidad (m)
Secas	0.163	-0.182	0.078	-0.191
Lluvias	0.109	0.255	0.255	-0.094
Nortes	-0.016	0.254	0.474	-0.015
Anual	-0.133	-0.146	-0.077	-0.173

Análisis espacio-temporal de la abundancia de las especies típicas

Época de Secas

En la época de secas se registran los valores más altos de densidad en la laguna arrecifal, arrecife frontal y posterior de la bahía de Akumal (estaciones 3, 9 y 10) con valores de 1 ind/m². Por otra parte, las estaciones 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 11 a la 20 (bahía Akumal, Media Luna y zona de Yal-Kú), la densidad fluctuó entre 0.2 a 0.5 ind/m² (Tabla 44, Fig. 19).

En secas la variabilidad del primer componente del ACP explicó el 36.05% de la varianza acumulada y la especie que mayor influencia ejerce en la separación es *H. flavolineatum* en la estación 9. La segunda componente explica el 67.9% de la varianza, siendo *A. chirurgus* y *A. saxatilis* las especies que mayor efecto presentaron en las estaciones 10 y 17, respectivamente (Fig. 20).

Época de Lluvias

Durante la época de lluvias se obtuvieron las mayores densidades en el arrecife posterior de la bahía Akumal (estación 10), arrecife anterior de Media Luna (estación 14) y laguna de Yal-Kú (estación 17) con 1 ind/m², mientras que el resto de las estaciones del sistema arrecifal (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 19 y 20) los valores oscilaron de 0.1 a 0.3 ind/m² (Tabla 45, Fig. 19).



Figura 19. Distribución de la Abundancia de las Especies de Peces Típicas en el Sistema Arrecifal de Akumal, Quintana Roo. Época de Secas, Lluvias y Nortes.

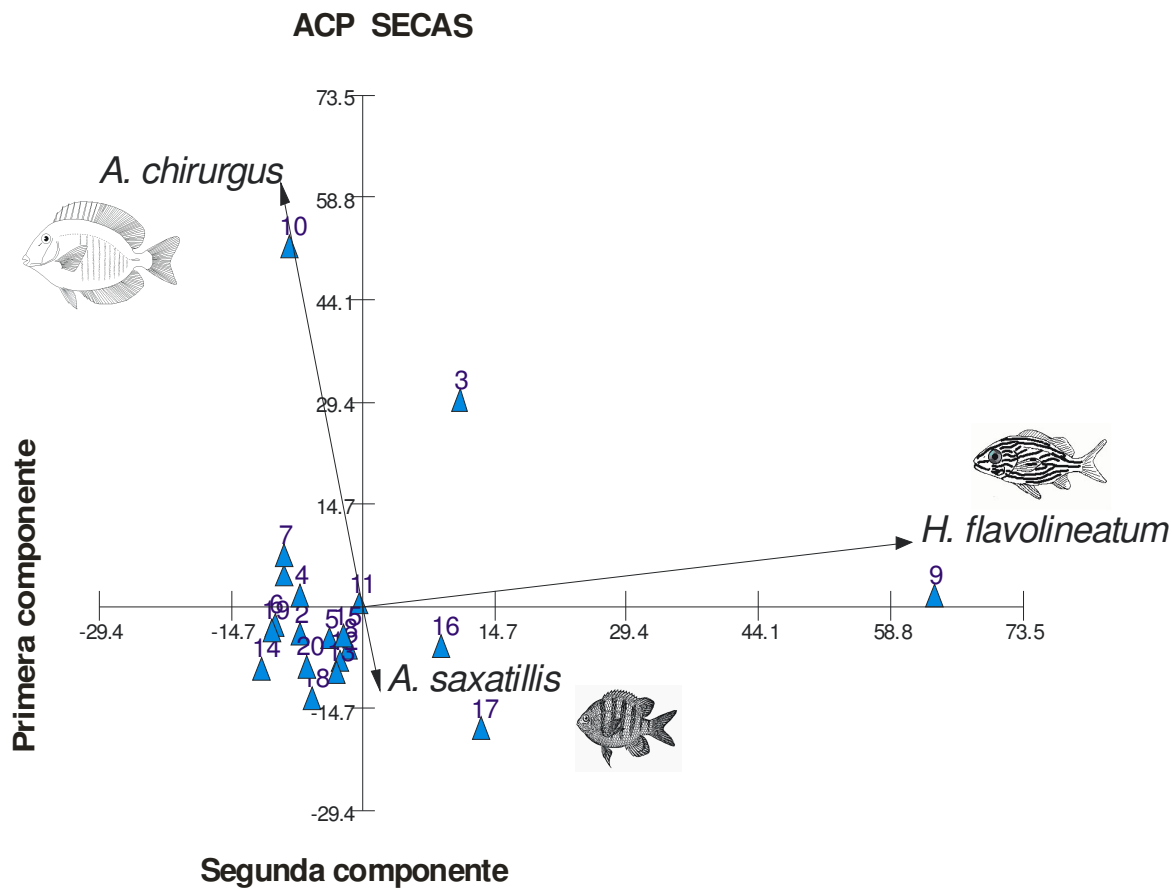


Figura 20. Dispersión de datos entre la primera y segunda componentes principales, donde se consideraron las estaciones de muestreo y las especies típicas del sistema arrecifal de Akumal, Quintana Roo. Época de Secas.

El ACP en lluvias muestra que la primera componente explicó el 44.2% de la variabilidad y el segundo componente el 26.3%. Las especies que presentaron mayor peso sobre la primera componente fueron *A. coeruleus* (estación 10) y *H. sciurus* (estación 14), y sobre la segunda componente fue *A. saxatillis*, *H. flavolineatum* y *S. viride* en la estación 17 (Fig. 21).

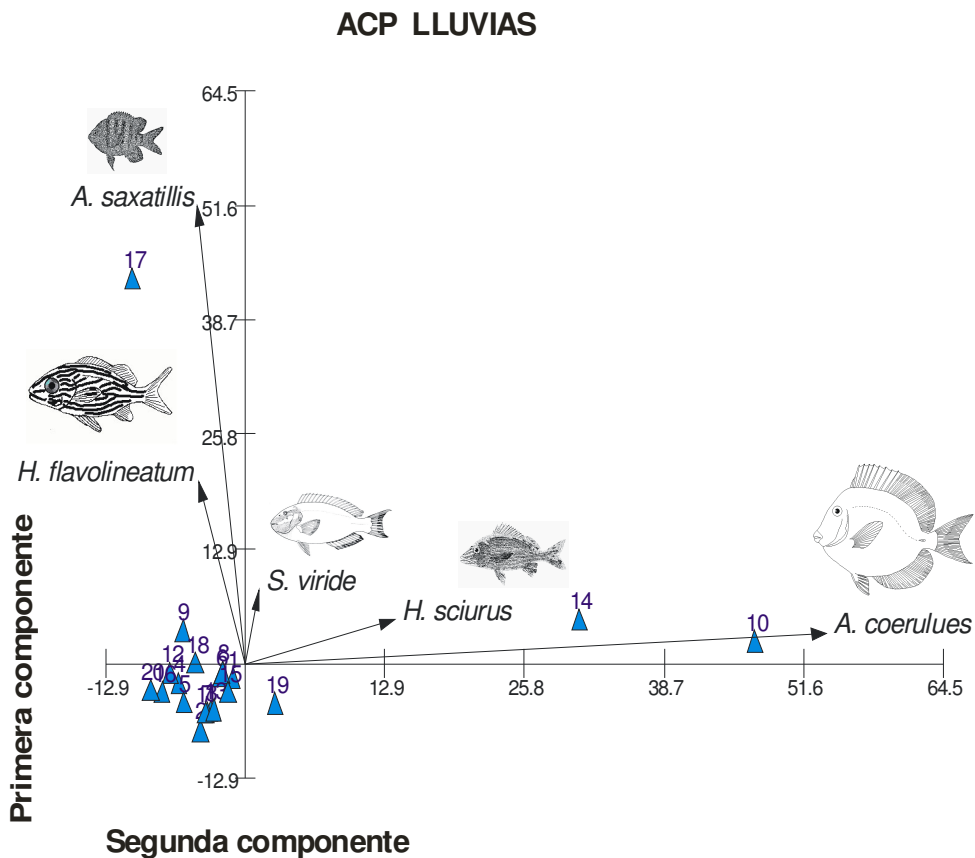


Figura 21. Dispersión de datos entre la primera y segunda componentes principales, donde se consideraron las estaciones de muestreo y las especies típicas del sistema arrecifal de Akumal, Quintana Roo. Época de lluvias.

Época de Nortes

Se registraron en la época de nortes las densidades máximas en las estaciones 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 14, 15 y 17 (arrecife anterior, plataforma arenosa de Akumal y Media Luna, así como Yal-Kú) con valores de 1 ind/m². A su vez, la laguna arrecifal y la parte posterior de Akumal, además de la plataforma arenosa de Media

Luna y parte frontal de la zona de Yal-Kú (estaciones 1, 2, 9, 10, 12, 13, 16, 18, 19 y 20) la densidad fluctuó entre 0.1 a 0.5 ind/m² (Tabla 46, Fig. 19).

En la época de nortes los resultados del ACP mostraron que el 57.4% de la varianza fue explicada por la primera componente, mientras que el 75.2% lo explicó la segunda componente. Las especies que mayor influencia tienen en la primera componente son *H. sciurus*, *A. coeruleus* y *A. bahianus* en la estación 5, por otra parte las especies *A. saxatillis* y *A. chirurgus* en las estaciones 6 y 3, respectivamente, presentaron mayor peso sobre la segunda componente (Fig. 22).

En las tres épocas climáticas la densidad registró el promedio más bajo en lluvias con 0.03 ind/m², mientras que los valores más altos fueron similares en secas y nortes con 0.045 y 0.049 ind/m², respectivamente. El análisis de varianza entre las tres épocas climáticas presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$; Tabla 47).

Tabla 47. Análisis estadístico de la densidad, con los promedios para cada una de las épocas climáticas del Sistema Arrecifal de Akumal, Quintana Roo.

	Secas	Lluvias	Nortes	G.L.	Estadístico	Significancia
Densidad	0.045	0.030	0.049	2	H = 30.927	P = 0.001

Comportamiento Anual

Las máximas densidades de las especies típicas durante todo el año se registraron en las estaciones 3, 10, 14 y 17 (arrecife anterior y posterior de akumal, arrecife frontal de la bahía Media Luna y laguna de Yal-Kú) con valores de 1 ind/m². A su vez, la laguna arrecifal y la plataforma arenosa de todo el sistema arrecifal (estaciones 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 19 y 20) la densidad osciló entre 0.2 a 0.5 ind/m² (Tabla 48, Fig. 23).

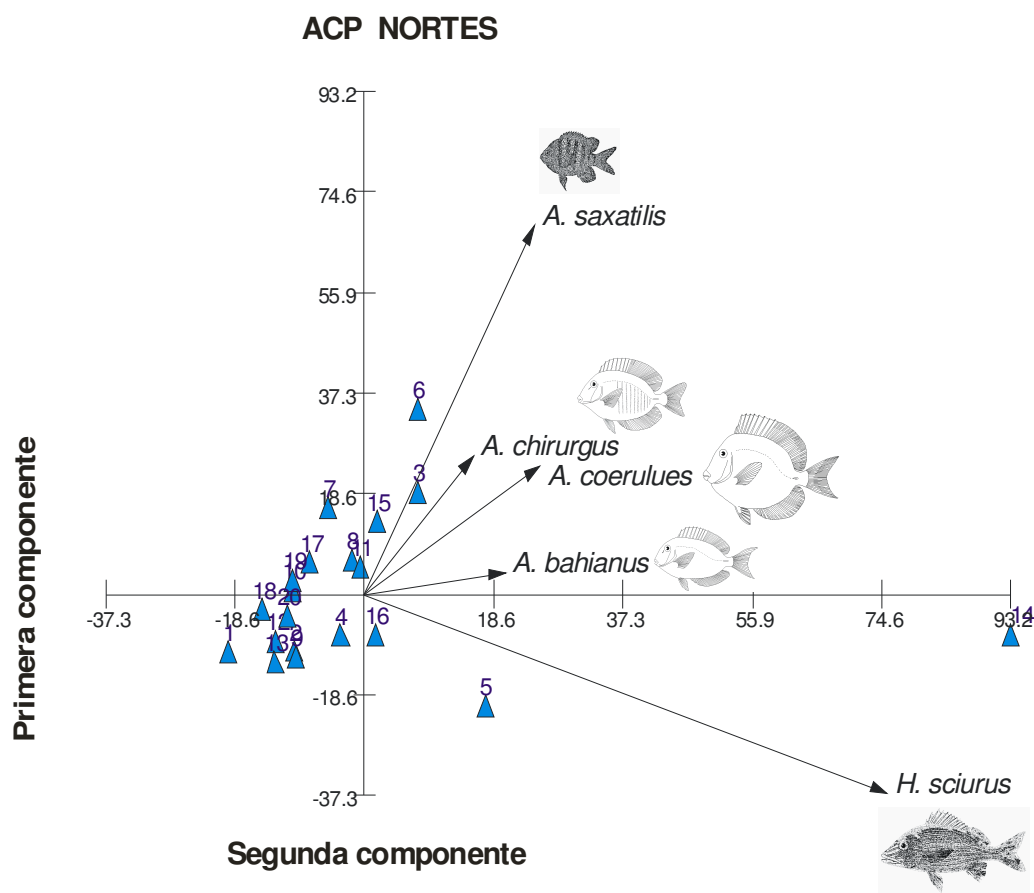


Figura 22. Dispersión de datos entre la primera y segunda componentes principales, donde se consideraron las estaciones de muestreo y las especies típicas del sistema arrecifal de Akumal, Quintana Roo. Época de Nortes.

El resultado del Análisis de Componentes Principales (ACP) muestra un patrón estructural a escala anual en cuanto a las asociaciones de especies. El primer componente fue el que más porcentaje explicó, con el 36.5%, mientras que el 76.05% se explicó hasta el tercer componente. Las especies que se encontraron fuertemente correlacionadas con la primera componente fueron *H. sciurus* en la estación 14 y *A. coeruleus*, *A. chirurgus* y *A. bahianus* en las estaciones 3, 5, 10, 15 -

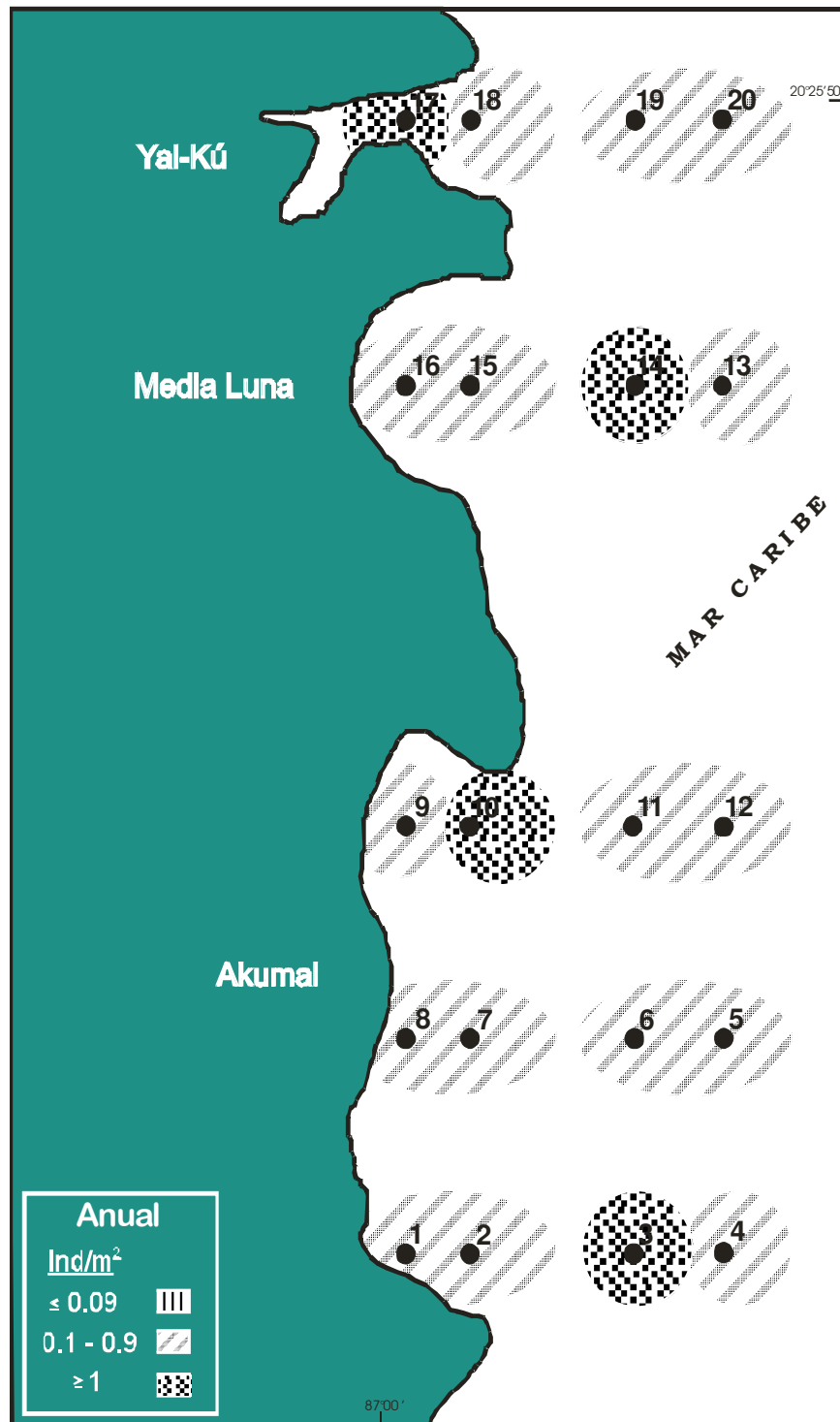


Figura 23. Distribución de la Abundancia de las Especies de Peces Típicas en el Sistema Arrecifal de Akumal, Quintana Roo. Anual.

y 16, mientras que las especies que presentaron mayor peso sobre la segunda componente fue *A. saxatillis* y *H. flavolineatum*, en las estaciones 6 y 17, respectivamente (Fig. 24).

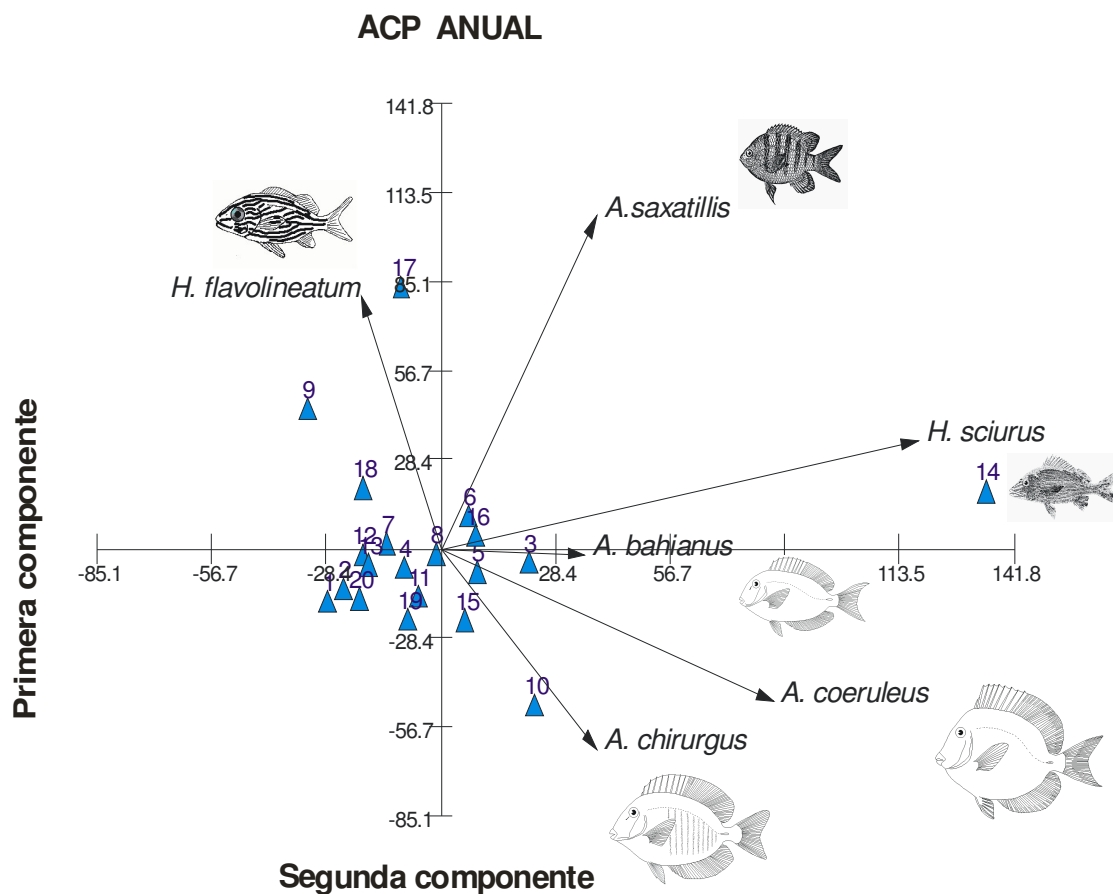


Figura 24. Dispersión de datos entre la primera y segunda componentes principales, donde se consideraron las estaciones de muestreo y las especies típicas del sistema arrecifal de Akumal, Quintana Roo. Anual.

Relaciones Peces-Hábitat

Para el Análisis de Correspondencias Canónicas (ACC), fueron consideradas las doce especies típicas definidas de manera anual para el sistema arrecifal de Akumal; *Abudefduf saxatilis* (Asax), *Acanthurus bahianus* (Abah), *A. chirurgus* (Achi), *A. coeruleus* (Acoe), *Haemulon flavolineatum* (Hfla), *H. sciurus* (Hsci), *Halichoeres radiatus* (Hrad), *Microspathodon chrysurus* (Mchr), *Scarus taeniopterus* (Stae), *Sparisoma viride* (Svir), *Stegastes adustus* (Sadu) y *Thalassoma bifasciatum* (Tbif). A su vez, las variables ambientales utilizadas fueron la salinidad, temperatura, oxígeno, profundidad, cobertura coralina, sustrato arenoso y cobertura de pastos marinos.

En el sistema arrecifal de Akumal, la respuesta de las especies típicas a las variables ambientales estuvo explicada por los dos primeros ejes en un 48.6%, mientras que la correlación entre las especies típicas y las variables ambientales fue alta ($r= 0.94$ para el primer eje y $r= 0.90$ para el segundo eje), lo cual indica una relación significativa entre las especies con las variables ambientales usadas en el análisis ($F= 7.91$, $p= 0.000052$, $\lambda=0.000001$).

El Análisis de Correspondencia Canónica indica que la cobertura coralina, temperatura, pastos marinos y oxígeno, son las principales variables que explican la variación de las asociaciones ícticas en el sistema arrecifal coralino. La variación principal de las especies típicas puede ser observada en los dos primeros ejes del ACC. El primer eje se encuentra fuertemente correlacionado en la parte negativa con

la cobertura coralina y la salinidad, mientras que del lado positivo se correlaciona con la temperatura, pastos marinos, oxígeno y sustrato arenoso, por otra parte, el segundo eje se correlaciona negativamente con la profundidad (Fig. 28). En la parte negativa de ambos ejes, la cobertura coralina se correlaciona con la especie *Microspathodon chrysurus* asociada a zonas de mayor complejidad arrecifal (estaciones 14 y 19), mientras que *Thalassoma bifasciatum* se correlaciona con la profundidad en las estaciones 4, 5, 6, 12, 13 y 20 (arrecife frontal). Del lado positivo del segundo eje y el negativo del primero, la salinidad se correlacionó con *Acanthurus coeruleus* en áreas de gorgonias, algas y sustrato arenoso-rocoso (estación 15). En el lado positivo de los dos primeros ejes, se observa que la temperatura, los pastos marinos y el sustrato arenoso se correlacionaron con las especies *Haemulon flavolineatum*, *Stegastes adustus*, *Sparisoma viride*, *Halichoeres radiatus* y *Abudefduf saxatilis* asociadas a zonas con temperaturas y concentraciones de oxígeno altas (estaciones 1, 8, 9, 16 y 17). A lo largo de la parte positiva del primer eje y la parte negativa del segundo, *Haemulon sciurus* se correlacionó con el oxígeno, teniendo un efecto importante en la estación 18 (Fig. 25).

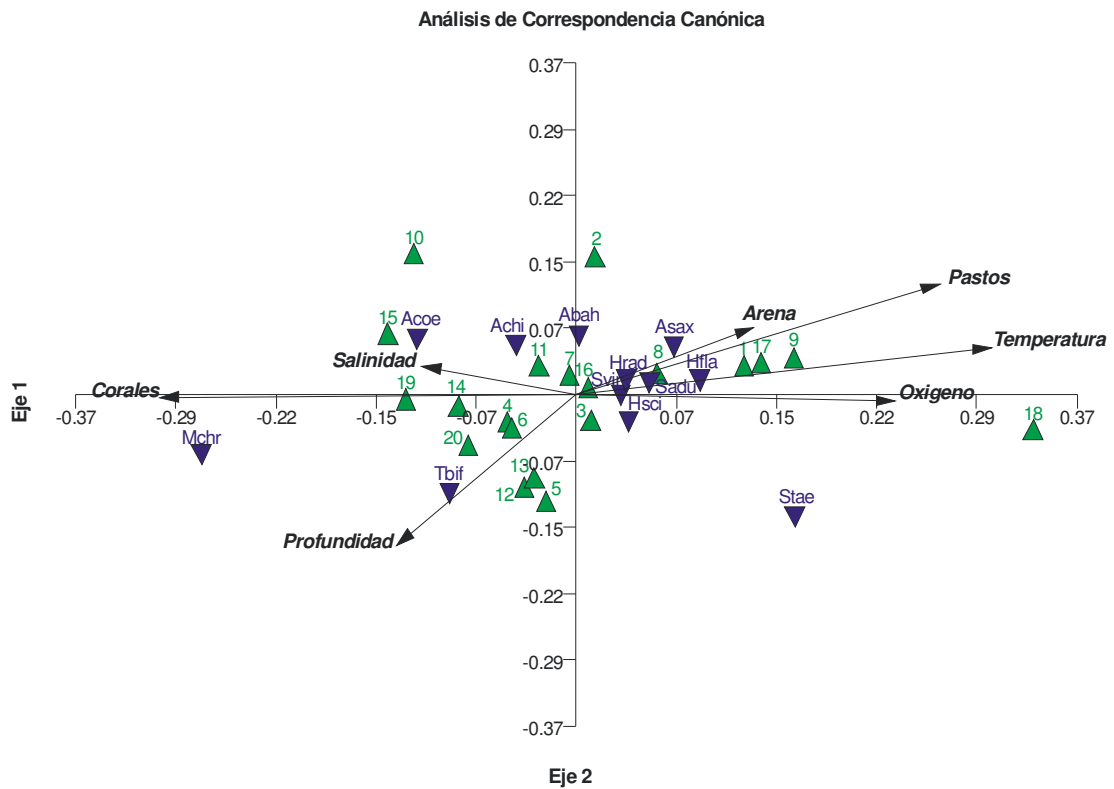


Figura 25. Diagrama de ordenación canónica de las especies típicas y las variables ambientales del sistema arrecifal de Akumal en los dos primeros ejes.

DISCUSIÓN

Variables Ambientales

En general, las fluctuaciones de los parámetros fisicoquímicos a través del año en el sistema arrecifal de Akumal presentaron los máximos valores en la época de nortes (octubre y diciembre). Mientras que los valores mínimos se registraron principalmente en secas (febrero y abril) y lluvias (junio y agosto). Estos mínimos y máximos valores son diferentes a los registrados por Merino y Otero (1991), quienes registran los valores máximos en el verano y los mínimos en el invierno.

Los sistemas arrecifales coralinos han sido divididos por diferentes autores de acuerdo a características fisiográficas y en función de sus componentes bióticos y abióticos (Goreau, 1959; Glynn, 1973 y Sale, 1991). En el presente estudio se identificaron cuatro grupos bien diferenciados con respecto a las estaciones de muestreo y los parámetros fisicoquímicos (salinidad, temperatura, oxígeno y profundidad) en el análisis de conglomerados. De esta manera se dividió al sistema arrecifal en función de las características ambientales en: 1) arrecife anterior, 2) arrecife posterior y barrera arrecifal, 3) línea de costa y 4) zona de Yal-Kú.

Los resultados mostraron que los cambios de salinidad en las diferentes zonas del sistema arrecifal de Akumal se pueden atribuir a la profundidad, al grado de exposición del sistema a la evaporación y al aporte de agua dulce debido a la diferencia de niveles hidrostáticos, ocasionados por la acumulación de aguas

pluviales en la matriz rocosa de naturaleza kárstica de la península de Quintana Roo, siendo la descarga subterránea de 8.6×10^6 de m^3 por kilómetro de costa al año que en algunas localidades aflora como cenotes, tanto en el continente como en el mar, siendo el caso de la laguna de Yal-Kú (Sorokin, 1995; INE, 1998, 2000).

En el sistema arrecifal de Akumal se observa que los valores de temperatura responden a la profundidad, ya que las mayores temperaturas se presentan en las zonas someras y disminuye conforme incrementa la profundidad. El Instituto Nacional de Ecología (1998) y Merino y Otero (1991), consideran que el estado de Quintana Roo posee un clima isotermal con temperaturas que van de 18 a 33 °C. Sin embargo, en este estudio no se presentaron cambios tan abruptos en los valores de temperatura.

En los sistemas arrecifales coralinos, una de las principales condiciones en la variación espacial de la comunidad de peces es la profundidad, la cual influye en la sobrevivencia, crecimiento y distribución vertical de los peces (Srinivasan, 2003). Las diferentes profundidades registradas para Akumal se pueden atribuir a las características geomorfológicas y rasgos físicos y biológicos del sistema.

Los diferentes valores de oxígeno disuelto registrados en la columna de agua del sistema arrecifal de Akumal, son resultado del grado de exposición a condiciones de alta energía hidrodinámica, la cual provoca la división del sistema (Díaz-Ruiz *et al.*, 2005). En la primera zona (parte posterior, barrera y frente arrecifal), la energía

del movimiento del agua es baja, debido a que es una zona muy somera en la cual existen pocos corales y algunos parches de pastos marinos, gorgóneas y macroalgas (Díaz-Ruiz *et al.*, 2002). En la segunda zona (laguna de Yal-Kú), existe una alta energía hidrodinámica con formaciones coralinas complejas y una alta diversidad de organismos bentónicos en profundidades de 2 a 12 metros (Díaz-Ruiz *et al.*, 2005).

La zonación descrita considerando las variables ambientales corresponde con la definida por Díaz-Ruiz *et al.* (2000b, 2002, 2005) para el sistema arrecifal de Akumal y se asemeja con la descrita por Núñez-Lara, (1998), para los sistemas arrecifales del sur de la península de Quintana Roo.

Especies Típicas

Del periodo de estudio se determinaron 12 especies típicas por medio del índice de Importancia Relativa Total (IRT), las cuales, representan el 65.16% del número total de individuos registrados en 6 meses de muestreo bimestrales en el sistema arrecifal de Akumal. Las especies obtenidas pertenecen a las familias Acanthuridae (*Acanthurus bahianus*, *A. chirurgus* y *A. coeruleus*), Haemulidae (*Haemulon flavolineatum* y *H. sciurus*), Labridae (*Thalassoma bifasciatum* y *Halichoeres radiatus*), Pomacentridae (*Abudefduf saxatilis*, *Microspathodon chrysurus* y *Stegastes adustus*) y Scaridae (*Scarus taeniopterus* y *Sparisoma viride*). Estas familias corresponden a los resultados obtenidos por Díaz-Ruiz y Aguirre-León (1993), Núñez-Lara (1998), en los sistemas arrecifales de Cozumel, Boca Paila,

Tampalam y Majahual, en el Caribe mexicano. A su vez, apoyan las ideas de Choat y Bellwood (1991), Bellwood (1996), quienes elaboraron una lista de las familias de peces perciformes más ampliamente distribuidos y abundantes de los sistemas arrecifales, dentro de la cual se encuentran las familias definidas en este estudio.

Los arrecifes están constituidos por diferentes tipos de hábitats dependiendo de la escala espacial a la cual se estudie. El reclutamiento de la mayoría de las especies de peces arrecifales se da dentro del sistema y permanece en él durante toda su vida. La etapa planctónica termina con el establecimiento en el sustrato arrecifal. Estos peces incluyen a las familias Scaridae, Acanthuridae, Sygnathidae, Chaetodontidae, Pomacanthidae y algunas especies de las familias Labridae, Pomacentridae y Haemulidae. Algunos de estos grupos no solo permanecen asociados a los sistemas arrecifales sino que también presentan patrones de desplazamiento asociándose con características estructurales y bióticas particulares del sistema arrecifal coralino (Sale, 1991, 2002).

Estas familias de peces representan los principales grupos de la fauna íctica arrecifal, los cuales se caracterizan por presentar todo su ciclo de vida en el sistema y porque cada familia esta formada por especies ecológicamente similares (gremios), aunque existen algunas especies dentro de los mismos grupos con diferentes hábitos alimenticios. Choat y Bellwood (1991) han realizado estudios de contenido estomacal en sistemas arrecifales coralinos por lo que se podría inferir un mismo patrón de alimentación y uso de la fauna sésil.

Distribución

Los factores ambientales que determinan los patrones de distribución de los peces arrecifales coralinos son variados. De manera general, estos factores pueden ser biológicos (*i.e.*, reclutamiento, competencia y depredación), físicos (*i.e.*, profundidad, temperatura y salinidad) o históricos (perturbaciones climáticas) (Friedlander *et al.*, 2003; Garpe y Öhman, 2003; Lecchini *et al.*, 2003).

En cuanto a la variación espacial y temporal de cada especie típica en el arrecife de Akumal, los resultados indican que las especies tienen diferentes patrones de distribución para cada época climática (secas, lluvias y nortes), presentando la época de nortes las distribuciones más homogéneas en todo el sistema arrecifal, principalmente en áreas con una alta heterogeneidad espacial y por estrategias biológicas de utilización del sistema, como lo señala Munro (1983), Aiken (1983), Chabanet *et al.* (1997), Díaz-Ruiz *et al.*, (2002), Glynn (2004). Debido a esa alternancia espacio-temporal se optimiza la utilización del espacio y los recursos, al mismo tiempo de minimizar la competencia Intra e Interespecífica en los hábitats, manteniendo en equilibrio la estructura del hábitat dentro del sistema (Díaz-Ruiz *et al.* 1998). Por otra parte Choat (1991), ha observado que los patrones de distribución de los peces arrecifales dependen en gran medida de la disponibilidad de recursos, de tal manera que los peces herbívoros están determinados por diferentes condiciones ambientales, localizándose principalmente en zonas con mayor actividad fotosintética (< 20 m de profundidad).

Se presentan diferencias entre las abundancias de las especies típicas durante las tres épocas climáticas (secas, lluvias y nortes), lo cual indica un cambio estacional y espacial en cuanto al desplazamiento de las especies hacia áreas favorables para su ontogenia dependiendo de la época del año. En secas las especies se localizan preferentemente en la bahía de Akumal, siendo *A. chirurgus* y *H. flavolineatum* las especies asociadas a esa bahía. En la época de lluvias se desplazan a zonas con mayor complejidad estructural como la laguna de Yal-Kú, el arrecife frontal de bahía Media Luna y la laguna arrecifal de Akumal. Las especies más importantes para el área de Yal-Kú son *A. saxatillis*, *H. flavolineatum* y *S. viride*, para Media luna es *H. sciurus* y para la bahía de Akumal la especie *A. coeruleus*. En nortes la distribución de las especies es muy amplia en todo el sistema, abarcando prácticamente todas las áreas de mayor heterogeneidad. A pesar de la estrecha relación entre la distribución de las especies de peces con las variables ambientales, pocos estudios han determinado los factores ambientales que influyen en dicha distribución (Srinivasan, 2003). En la única época del año en la cual el oxígeno presentó una asociación con la abundancia de las especies típicas fue en nortes. En el arrecife frontal y la plataforma arenosa de Akumal, las especies *H. sciurus*, *A. saxatillis*, *A. coeruleus*, *A. bahianus* y *A. chirurgus* son las especies que tienen mayor influencia en esas áreas de la bahía.

Los resultados obtenidos en este estudio, referentes al comportamiento de las distribuciones de las 12 especies típicas a escala anual son constantes en todo el arrecife. Sin embargo, existe una clara preferencia por ciertas zonas del arrecife,

principalmente en las zonas con mayor complejidad arrecifal en Akumal, Media Luna y en el área de Yal-Kú, ya que esta última posee características físico-ambientales con una alta heterogeneidad espacial. Las especies *H. sciurus*, *A. coeruleus*, *A. chirurgus* y *A. bahianus* son las que se asociaron mayormente al área de Akumal y Media Luna, mientras que *H. flavolineatum* es la especie más importante en la laguna de Yal-Kú. Esta última especie pertenece a la familia Haemulidae, la cual está representada en el caribe por 23 especies, siendo solamente dos de ellas típicas. Se alimentan principalmente de invertebrados vágiles y algunos peces (Gerking, 1994). Algunos estudios como los de Jones *et al.* (1991) y Williams (1991), han demostrado en general, que las especies de peces arrecifales con una alimentación de tipo carnívora son mucho más abundantes en la parte protegida del arrecife que en cualquier otra zona del sistema arrecifal, lo que puede explicar su importancia en la zona de Yal-Kú.

Abundancia

En el sistema arrecifal de Akumal las especies que mostraron mayor importancia en orden decreciente son: *Acanthurus chirurgus*, *Acanthurus coeruleus*, *Sparisoma viride*, *Haemulon sciurus*, *Abudefduf saxatilis*, *Acanthurus bahianus*, *Haemulon flavolineatum*, *Stegastes adustus*, *Thalassoma bifasciatum*, *Halichoeres radiatus*, *Scarus taeniopterus* y *Microspathodon chrysurus*. Estos resultados son diferentes a los reportados para la parte sur del Caribe mexicano en donde las especies más importantes en cuanto a su abundancia y frecuencia son: *A. bahianus*,

A. coeruleus y *Chromis cyanea* (Núñez-Lara, 1998). Esto se debe a que las especies típicamente arrecifales tienen una amplia distribución en el mundo, de tal forma que muchas de las comunidades de peces de los arrecifes coralinos son semejantes (Robertson, 1998). Aunque no hay que olvidar que la abundancia de las especies que están ampliamente distribuidas en algún área, no necesariamente es similar en otros arrecifes y que varía a través del tiempo.

Durante todo el año, las especies de la familia Acanthuridae presentan las mayores abundancias principalmente en la parte anterior y posterior arrecifal, siendo *A. chirurgus* la especie más abundante de todas las especies típicas (2,664 individuos), registrando sus máximos valores de abundancia en la época de secas (0.1 ind/m²), así como una asociación con la salinidad para dicha época climática. Por otra parte *A. bahianus* tiene las mayores abundancias en la época de nortes, asociándose con la profundidad. Esto concuerda con Williams y Polunin (2001), quienes mencionan que los acantúridos son mucho más abundantes en aguas poco profundas (≤ 10 m). A pesar de que *A. coeruleus* no presentó diferencias en su abundancia durante las tres épocas climáticas, es la segunda especie más abundante en el sistema arrecifal (2,477 individuos) correlacionándose a escala anual con la temperatura, no obstante que este parámetro en este ecosistema es poco fluctuante. Las tres especies de acantúridos se registran en condiciones iguales de salinidad, temperatura y oxígeno disuelto. En cuanto a la profundidad *A. coeruleus* y *A. bahianus* se presentan en el mismo intervalo (1.7-3.7 m), mientras que *A. chirurgus* se puede encontrar a menores profundidades (1.9-2.5 m).

Los escáridos (Scaridae) se observan en el área de Yal-Kú, arrecife frontal y plataforma arenosa de bahía Media Luna principalmente. Las especies *S. viride* y *S. taeniopterus* se localizan a iguales condiciones de temperatura y oxígeno disuelto y presentan diferentes intervalos de salinidad y temperatura, siendo *S. viride* la tercer especie más importante del sistema arrecifal coralino de Akumal (2,118 individuos) con características eurihalinas, llegando a encontrarse a profundidades ≥ 10 m.

Estos resultados son similares a los registrados por Bouchon-Navaro y Harmelin-Vivien (1981), quienes observaron que los acantúridos son más abundantes en la parte lagunar y los escáridos en el arrecife anterior. En contraste con Robertson *et al.* (1979), quienes encontraron que las loras (Scaridae) son mas abundantes en la cresta arrecifal y los cirujanos (Acanthuridae) en la zona profunda de la cresta arrecifal. Russ (1984 a, b) dice que ambas familias son mas abundantes en la cresta y laguna arrecifal que en la parte lagunar y en el arrecife anterior.

Los acantúridos (Acanthuridae) están representados por 3 especies en el Caribe, las cuales se reportan en este estudio como típicas mientras que los escáridos (Scaridae) constituyen 15 especies de las cuales solo dos especies son típicas para el sistema arrecifal de Akumal. Ambas familias tienen una alimentación principalmente herbívora teniendo un importante papel en el mantenimiento de coberturas poblacionales bajas de las macroalgas (Williams y Polunin, 2001). Los peces arrecifales coralinos herbívoros constituyen el grupo más abundante y ampliamente distribuido dentro de los vertebrados herbívoros. Estos peces ejercen

tres importantes procesos en el sistema arrecifal coralino; 1) dinámica trófica, ya que los herbívoros son el principal eslabón para el flujo de energía desde los productores primarios a los consumidores secundarios, 2) interacciones alga-herbívoro, teniendo un importante efecto en la distribución y composición de las algas y 3) demografía y comportamiento, analizando las relaciones de los peces herbívoros con sus recursos (Choat, 1991).

En la familia Pomacentridae las mayores abundancias las presenta *A. saxatilis* en la laguna de Yal-Kú (0.2 ind/m²), siendo más abundante que *M. chrysurus* y *S. adustus*. Posiblemente esa mayor abundancia en esa zona del sistema arrecifal, se debe a la heterogeneidad ambiental de la laguna, ya que posee una zonación de alta complejidad estructural, la cual, permite mayores áreas de protección (Sale y Douglas, 1984), alimentación, crianza (Díaz-Ruiz *et al.*, 1998), reclutamiento y reproducción (Talbot *et al.*, 1978; Bohnsack, 1989; Williams, 1982; Booth y Beretta, 2004). Resultados similares han sido observados en otros sistemas arrecifales coralinos como Hatcher (1981), Williams y Hatcher (1983), Sorokin (1995), quienes mencionan que la complejidad y la topografía arrecifal son factores muy importantes en la distribución y abundancia de las especies ya que provee la disponibilidad del espacio. De manera conjunta, las damiselas (Pomacentridae) se observan mayoritariamente en la parte anterior y laguna arrecifal de todo el sistema arrecifal. La única especie que presenta abundancias diferentes en secas, lluvias y nortes, es *A. saxatilis* teniendo una abundancia mayor en nortes (0.7 ind/m²) y asociándose inversamente con la profundidad. Una característica importante es que la distribución

de las especies pertenecientes a esta familia depende en gran medida de su alimentación, como lo señalan algunos autores como Clarke (1977), Sale (1991), quienes comprueban que la distribución de las damiselas que cultivan sus algas (principalmente el género *Stegastes spp.*), está restringida a zonas arrecifales someras.

Los pomacéntridos están constituidos por 15 especies en la región del Caribe, de las cuales tres son especies típicas. Presentan una alimentación omnívora (principalmente de crustáceos y plancton) y se localizan principalmente en zonas arrecifales expuestas al oleaje. Gerking (1994), señala que los peces omnívoros presentan mayor distribución y abundancia en ambientes heterogéneos debido a que poseen amplio espectro trófico. Los peces omnívoros son oportunistas, ya que cambian de alimentación dependiendo de la disponibilidad del recurso, provocando que los flujos de energía desde los niveles más bajos varíen en el tiempo según las abundancias de los recursos (Winemiller, 1995).

Las especies *H. sciurus* y *H. flavolineatum* pertenecientes a la familia Haemulidae presentan distintos intervalos de condiciones ambientales, siendo *H. sciurus* la especie que presentó una mayor profundidad (4 m), salinidad (30.8-36.9 ups) y oxígeno (3.4-4.2 mg/l), en cuanto a la temperatura *H. flavolineatum* se observó a temperaturas mayores que las registradas para *H. sciurus* y obtuvo correlaciones en la época de secas con la salinidad, temperatura y oxígeno. Las mayores abundancias de estas especies se registraron en la parte anterior arrecifal, laguna y

zona de Yal-Kú de todo el sistema. Un factor importante que determina la abundancia y distribución de estas especies, es la disponibilidad de espacios como refugio que preferentemente estén cercanos a una fuente de alimento (Friedlander *et al.*, 2003).

La abundancia de los lábridos (Labridae) es mucho mayor en la plataforma arenosa de la bahía Media Luna y Akumal, siendo la especie más abundante *T. bifasciatum*. Esta especie se presenta a salinidades, concentraciones de oxígeno disuelto y profundidades más altas que *H. radiatus*. La especie *T. bifasciatum* prefiere temperaturas que oscilan de 22.7-23.6 °C, mientras que *H. radiatus* prefiere temperaturas más altas. Diferentes autores como Moyle y Cech (1988), Lagler *et al.* (1984) y Arrellano-Martínez *et al.* (1999), señalan que la temperatura es una condición muy importante debido al efecto en la aceleración de procesos metabólicos y a su influencia en la distribución, migración, alimentación, crecimiento y desarrollo, así como en los movimientos en busca de la temperatura óptima para la actividad vital en su momento.

En la región del Caribe la familia Labridae comprende 18 especies, de las cuales dos especies son típicas en el arrecife de Akumal. Son un grupo diverso de especies, teniendo aproximadamente 50 géneros y 500 especies en todo el mundo. La mayoría son carnívoros, los cuales se alimentan de una gran variedad de invertebrados. En la etapa juvenil se alimentan de crustáceos y en la etapa adulta de moluscos (Froese y Pauly, 2006).

Relaciones Peces-Hábitat

Los peces arrecifales coralinos muestran claros patrones en su distribución y abundancia, pero los factores que influyen en ese arreglo espacial son poco entendidos (Lecchini *et al.*, 2003).

Es sabido que las especies tienden a segregar sus nichos para minimizar la competencia a lo largo de gradientes ambientales, por tanto la composición de la fauna íctica puede cambiar a lo largo de estos gradientes. Sin embargo, no todas las características son igualmente importantes y algunas de ellas pueden ser combinadas con la finalidad de resaltar la separación del nicho de las especies. El primer eje del diagrama de ordenación ofrece la mayor separación de nicho de las especies, de esta manera se pueden apreciar los requerimientos generales de hábitat de cada especie (ter Braak y Verdonschot, 1995; ter Braak y Prentice, 2004).

La distribución de los puntos de las estaciones de muestreo y las especies típicas en combinación con los vectores de las variables ambientales establecen un panorama general del sistema arrecifal y su relación con las especies de peces. El principal gradiente ambiental está dado por la cobertura coralina en el arrecife frontal, debido a que esta zona se caracteriza por presentar áreas extensas de cobertura coralina en todas sus formas, derivando en una zona de alto relieve topográfico. La especie mayormente asociada a esta zona es *M. chrysurus*, ya que la disposición de espacio y alimento es un factor importante para la especie debido a su característica

sedentaria (Sale, 1991). Pianka (1966), había considerado que la distribución y abundancia estaba relacionada con la complejidad topográfica, en donde se encuentran gran variedad de hábitats asociándose en las distintas zonas de la fisiografía arrecifal diferentes especies de peces. Este resultado concuerda con estudios realizados en la parte sur de caribe mexicano, en donde reportan que la complejidad topográfica es la variable más importante para las especies de peces arrecifales coralinos (Núñez-Lara, 1998; Garpe y Öhman, 2003; Lecchini *et al.*, 2003).

Otras variables que definieron de manera significativa la abundancia de las especies típicas en el sistema arrecifal de Akumal fue la profundidad, temperatura, salinidad, cobertura de pastos marinos y oxígeno. Algunos estudios como los de Williams y Hatcher (1983), Lecchini *et al.* (2003), han demostrado que la abundancia de los peces herbívoros en la mayoría de sistemas arrecifales disminuye conforme aumenta la profundidad, como respuesta a la disponibilidad de alimento. En este estudio se observa que la especie *T. bifasciatum* está relacionada con la profundidad en la parte anterior arrecifal. Observaciones de otros investigadores (Garpe y Öhman, 2003) sugieren que las variaciones de las especies de peces arrecifales se atribuyen a la energía hidrodinámica y a la composición de organismos bentónicos del sistema arrecifal.

Las asociaciones de peces arrecifales se consideran altamente impredecibles o reguladas por procesos estocásticos, con relaciones inter e intraespecíficas (Caley

et al., 1996). En este estudio el factor más importante fue la cobertura coralina. No hay que olvidar que la estructura del hábitat es continuamente modificada por perturbaciones naturales (*i. e.* huracanes) y antropogénicas (*i. e.* pesquerías), las cuales provocan efectos en las asociaciones de peces (Yáñez-Arancibia y Day, 2005).

CONCLUSIONES

Se obtuvieron un total de 12 especies de peces típicas pertenecientes a 5 familias en el sistema arrecifal de Akumal, en el caribe mexicano. Estas especies representan el 65.16% del número total de individuos registrados (31,396 individuos).

Las especies con mayor valor del índice de Importancia Relativa Total (IRT) fueron: *Acanthurus chirurgus*, *Acanthurus coeruleus*, *Sparisoma viride*, *Haemulon sciurus*, *Abudefduf saxatilis*, *Acanthurus bahianus*, *Haemulon flavolineatum*, *Stegastes adustus*, *Thalassoma bifasciatum*, *Halichoeres radiatus*, *Scarus taeniopterus* y *Microspathodon chrysurus*. Estas especies pertenecen a las familias Acanthuridae, Haemulidae, Labridae, Pomacentridae y Scaridae, las cuales son las familias más representativas en los sistemas arrecifales.

En la época de secas se registraron 8 especies de peces típicas, en lluvias 9 y en nortes 11 especies típicas, estando presentes durante las tres épocas climáticas

las especies *Abudefduf saxatilis*, *Acanthurus bahianus*, *A. chirurgus*, *A. coeruleus*, *Haemulon flavolineatum*, *H. sciurus* y *Sparisoma viride*.

En el sistema arrecifal de Akumal, las especies de peces típicas muestran una amplia distribución, presentando preferencias por la laguna de Yal-Kú, parte posterior y frente arrecifal.

Existen diferencias entre las abundancias de las especies típicas durante las tres épocas climáticas (secas, lluvias y nortes), lo cual indica un cambio estacional y espacial dependiendo de la época del año, siendo la época de nortes en donde la distribución y abundancia es más homogénea en todo el sistema arrecifal.

Las especies de la familia Acanthuridae presentan las mayores abundancias en la parte posterior y frente arrecifal, siendo *A. chirurgus* la especie más abundante de todas las especies típicas con 2,664 individuos.

Las mayores abundancias de las especies de peces de la familia Scaridae se observan en el área de Yal-Kú y en zonas profundas (plataforma arenosa y arrecife frontal), mientras que en la familia Pomacentridae las mayores abundancias se presentan en zonas más someras como en la laguna de Yal-Kú.

Las especies de la familia Haemulidae tienen una abundancia mayor en el arrecife frontal, laguna arrecifal y zona de Yal-Kú, asociándose con la salinidad,

temperatura y concentración de oxígeno disuelto en la época de secas. Por otra parte, la abundancia de los lábridos (Labridae) es mucho mayor en la zona profunda de la bahía Media Luna y Akumal, siendo *T. bifasciatum* la especie que presenta un intervalo más amplio de tolerancia a la profundidad en comparación con *H. radiatus*.

La distribución y abundancia de las especies típicas del sistema arrecifal coralino de Akumal está determinada principalmente por la alta heterogeneidad espacial y por estrategias biológicas de utilización del sistema.

El factor más importante que influye en la distribución y abundancia de las especies de peces arrecifales coralinos típicos es la cobertura coralina. En el sistema arrecifal de Akumal este factor ambiental es más importante en la parte frontal del arrecife, ya que es una zona que presenta extensas áreas de corales lo que da como resultado una zona de alto relieve topográfico.

Un método rápido y preciso para evaluar la densidad de las especies de peces en ambientes arrecifales coralinos es el de censos visuales, el cual no daña a las poblaciones debido a que no se extraen individuos del ambiente, clasificándose como un método no destructivo.

LITERATURA CITADA

- ACKERMAN, J. L. y D. R. BELLWOOD, 2000. Reef fish assemblages: a re-evaluation using enclosed rotenone stations. *Marine Ecology Progress Series*, **206** (3): 227-237
- AIKEN, K. A., 1983. The biology, ecology and bionomics of the butterfly and angelfishes, Chaetodontidae. *In*: J. L. Munro (Ed.) *Caribbean coral reef fishery resources*. ICLARM. Manila, Philippines. Studies and Reviews, 7: 155-165
- ALVA-BASURTO, C., 2004. Ecología de los Peces de la Familia Pomacanthidae en Arrecifes Coralinos del Caribe Mexicano y su Evaluación Preliminar como Recurso Económico Potencial. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa., 138 p.
- ÁLVARES-RUBIO, B., F. AMEZCUA-LINARES y M. ÁLVAREZ-RUBIO, 1990. Análisis de la diversidad, amplitud y traslape del nicho en la comunidad de peces del sistema Teacapan-Agua Brava, Nayarit, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México*, **17** (2): 215-240
- ÁLVAREZ-GUILLÉN, H., M. C. GARCÍA-ABAD, M. TAPIA GARCÍA, G. J. VILLALOBOS ZAPATA y A. YÁÑEZ-ARANCIBIA, 1986. Prospección ictiológica en la zona de pastos marinos de la Laguna Arrecifal en Puerto Morelos, Quintana Roo (verano 1984): Nota Científica. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México*, **13** (3): 317-336
-

APHA (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION). 1995. ***Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water***. U. S. A. 1220 p.

ARELLANO-MARTÍNEZ, M., B. CEBALLOS-VÁZQUEZ, F. GARCÍA-DOMÍNGUEZ y F. GALVÁN-MAGAÑA, 1999. Reproductive Biology of the King Angelfish *Holocanthus passer Valenciennes 1846* in the Gulf of California, Mexico. ***Bulletin of Marine Science*, 65** (3): 677-85

ASHWORTH, J. S. y R. F. G. ORMOND, 2005. Effects of fishing pressure and trophic group on abundance and spillover across boundaries of a no-taken zone. ***Biological Conservation*, 121**: 333-344

BARRETT, N y C. BUXTON, 2002. ***Examining underwater visual census techniques for the assessment of population structure and biodiversity in temperate coastal marine protected areas***. Technical Reports Series, No. 11. The Tasmanian Aquaculture and Fisheries Institute and The Victorian Department of Natural Resources and Environment. University of Tasmania, 122 p.

BECK, M. W., K. L. HECK, JR., K. W. ABLE, D. L. CHILDERS, D. B. EGGLESTON, B. M. GILLANDERS, B. HALPERN, C. G. HAYS, K. HOCINO, T. J. MINELLO, R. J. ORTH, P. F. SHERIDAN y M. P. WEINSTEIN, 2001. The identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates. ***BioScience*, 51** (8): 633-641

BELLWOOD, D. R., 1996. The Eocene fishes of Monte Bolca: the earliest coral reef fish assemblage. ***Coral Reefs*, 15**: 11-19

BÖHLKE, J. E. y C. G. CHAPLIN, 1993. ***Fishes of the Bahamas and Adjacent Waters***. Livingston Publishing, Co., Pennsylvania, 771 p.

- BOHNSACK, J. A., 1989. Are high densities of fishes at artificial reefs the result of habitat limitation or behavioral preference?. *Bulletin Marine Science*, **44**: 631-645
- BOOTH, D. J. y G. A. BERETTA, 2004. Influence of recruit condition on food competition and predation risk in a coral reef fish. *Oecologia*, **140**: 289-294
- BOUCHON-NAVARO, Y. y M. L. HARMELIN-VIVIEN, 1981. Quantitative distribution of herbivorous fishes in the Gulf of Aqaba (Red Sea). *Marine Biology*, **63**: 79-89
- BROWER, J. E., J. H. ZAR y VON ENDE, 1997. *Field and laboratory methods for general ecology*. 4th ed. WC. C. Brown Company, Dubuque, Iowa, 273 p.
- CALEY, M. J., M. H. CARR, M. A. HIXON, T. P. HUGHES, J. P. JONES y B. A. MENGE, 1996. Recruitment and the local dynamics of open marine populations. *Annals Review Ecology Systems*, **27**: 477-500
- CANO-QUIROGA, E., 2005. Estructura de la comunidad de peces del sistema arrecifal coralino Akumal, Caribe Mexicano. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa., 112 p.
- CARPENTER, K. E., 2002. **The living marine resource of Western Central Atlantic. Volume 3: Bony Fishes part 2 (Opistognathidae to Molidae, sea turtles and marine mammals**. FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists, Special publication No. 5. Roma, FAO, 1375-2127 p.
-

- CASTILLO-RIVERA, M., 1995. Aspectos ecológicos de la ictiofauna de la laguna de Pueblo Viejo, Veracruz. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, 96 p.
- CERVIGÖN, F., 1991-1994. **Los peces marinos de Venezuela**. Editorial Univ. Oriente, Fund. Cien. Los Roques, Nva. Esparta, Venezuela, Vol. 1-4
- CHABANET, P., H. RALAMBONDRAIN, M. AMANIEU, G. FAURE y R. GALZIN, 1997. Relationships between coral reef substrata and fish. **Coral Reefs, 16** : 93-102
- CHÁVEZ, E. y E. HIDALGO, 1988. Los arrecifes coralinos del Caribe noroccidental y Golfo de México en el contexto socioeconómico. **Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, 15** (1): 167-176
- CHOAT, J. H., 1991. The biology of herbivorous fishes on coral reef. **In**: Sale P. F. (Ed). **The Ecology of Fishes on Coral Reefs**. Academic Press. USA, 754 p.
- CHOAT, J. H. y D. R. BELLWOOD, 1991. Reef Fishes: Their History and Evolution. **In**: Sale P. F. (Ed). **The Ecology of Fishes on Coral Reefs**. Academic Press. USA, 754 p.
- CLARKE, R. D., 1977. Habitat distribution and species diversity of chaetodontid and pomacentrid fishes near Brimini, Bahamas. **Marine Biology, 40**: 277-289
- COLWELL, R. K. y D. J. FUTUYMA, 1971. On the measurement of niche breadth and overlap. **Ecology, 52** (4): 567-576
-

-
- CURTIS, J., M. A. MOREAU, D. MARSDEN, E. BELL, K. MARTIN-SMITH, M SAMOILYS y A. VINCENT, 2004. ***Underwater visual census for seahorse population assessments***. Project Seahorse Technical Report No. 8, Version 1.0. Project Seahorse, Fisheries Centre, University of British Columbia, 28 p.
- DeMARTINI, E. E. y D. ROBERTS, 1982. An empirical test of biases in the rapid visual technique for species-time censuses of reef fish assemblages. ***Marine Biology*, 70:129-134**
- DÍAZ-RUIZ, S. y A. AGUIRRE-LEÓN, 1991a. Fish assemblages and patterns of fish habitat utilization from the Cozumel coral reef system, Mexican Caribbean. ***Bulletin Zoological Museum University Amsterdam*, 98 p.**
- DÍAZ-RUIZ, S. y A. AGUIRRE-LEÓN, 1991b. Habitat differentiation as a determining factor fish community structure in Mexican reefs. ***In: Procc. 44th Session Gulf and Caribbean Fisheries Institute. Nassau, Bahamas*, 22 p.**
- DÍAZ-RUIZ, S. y A. AGUIRRE-LEÓN, 1993. Diversidad y conjuntos ictiofaunísticos del sistema arrecifal de Cozumel, Caribe Mexicano. ***In: Salazar-Vallejo, S. y N. González (Eds.) Biodiversidad Marina y Costera de México***. CIQRO-CONABIO, México: 817-832
- DÍAZ-RUIZ, S., O. PÉREZ-SOLÍS, A. AGUIRRE-LEÓN, J. CHAVEZ y J. R. RAMOS, 1995. Estructura y dinámica de la comunidad de peces del sistema arrecifal coralino de Puerto Morelos, Quintana Roo. ***In: Proyecto Final. Proyecto de Investigación. "Evaluación Ecológica y Dinámica de los Recursos Ictiofaunísticos en los Arrecifes Coralinos de Quintana Roo"***. LIEC/CBS-UAMI, México, 90p. 13 tablas, 27 figs., un Anexo.
-

-
- DÍAZ-RUIZ, S., A. AGUIRRE-LEÓN, C. MACUITL-MONTES y O. PÉREZ-SOLÍS, 1996. Seasonal patterns of distribution and abundance of snappers in the mexican Caribbean. *In:* Arreguín-Sánchez, F., J. L. Munro, M. C. Balgos y D. Pauly (Eds.) ***Biology Fisheries and cultura of Tropical Groupers and Snappers***. ICLARM Conf. Proc. 48: 449 p.
- DÍAZ-RUIZ, S., A. AGUIRRE-LEÓN y E. ARIAS-GONZÁLEZ, 1998. Habitat interdependence in coral reef ecosystems: A case study in a Mexican Caribbean reef. ***Aquatic Ecosystem Health & Management***, 1: 387-397
- DÍAZ-RUIZ, S., E. CANO-QUIROGA, A. AGUIRRE-LEÓN, M. A. PÉREZ-HERNÁNDEZ, R. ORTEGA-BERNAL y E. MIRANDA-BLACKMORE. 2000a. ***Evaluación Ecológica y Biológica de los Recursos Ictiofaunísticos Dominantes en Arrecifes Coralinos de Quintana Roo***. Informe Final-Segunda Etapa, LIEC-CBS-UAM-I, México, 100 p.
- DÍAZ-RUIZ, S., A. MÁRQUEZ-GARCÍA y E. BARBA-MACIAS, 2000b. ***Caracterización Ecológica del Sistema Arrecifal Coralino de Akumal, Caribe Mexicano***. Informe Final-Primera Etapa, LIEC-CBS-UAM-I, México, 98 p.
- DÍAZ-RUIZ, S., E. CANO-QUIROGA, R. ORTEGA-BERNAL, R. MARTÍNEZ-OLVERA y A. AGUIRRE-LEÓN, 2002. Parte peces, *In:* Informe Final-Segunda Etapa, Proyecto de investigación ***“Caracterización Ecológica del Sistema Arrecifal Coralino de Akumal, Caribe Mexicano”***. LIEC-CBS-UAMI, México, 178 p.
- DÍAZ-RUIZ, S., E. CANO-QUIROGA, C. ALVA-BASURTO, F. ROSAS-GARCÍA, E. PEREZ-PONCE, A. AGUIRRE-LEÓN y M. CASTILLO-RIVERA, 2005. Caracterización ambiental y estructura ecológica de las comunidades de
-

peces en arrecifes coralinos de Quintana Roo. *In*: Proyecto Final. Proyecto de Investigación. “**Ecología y Evaluación de las Comunidades y Poblaciones de Peces en Sistemas Arrecifales Coralinos del Caribe Mexicano**”. LIEC/CBS-UAMI, México, 148 p.

EDGAR, G. J., N. S. BARRETT y A. J. MORTON, 2004. Biases associated with the use of underwater visual census techniques to quantify the density and size-structure of fish populations. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **308**: 269-290

FENNER, D. P., 1991. Effects of hurricane Gilbert on coral reefs fishes and sponges at Cozumel, Mexico. *Bulletin Marine Science*, **48** (3): 719-730

FISCHER, W., 1978. *FAO Species Identification Sheets for Fishery Purposes*. Western Central Atlantic (Fishing Area 31). Rome FAO, 1-7

FRIEDLANDER, A. M., E. K. BROWN, P. L. JOKIEL, W. R. SMITH y K. S. RODGERS, 2003. Effects of habitat, wave exposure, and marine protected area status on coral reef fish assemblages in the Hawaiian archipelago. *Coral Reefs*, **22**: 291-305

FROESE, R. y D. PAULY, 2006. FishBase. World Wide Web Electronic Publication.

GARCÍA, E., 1988. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. *Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México*, **5**: 182

GARPE, K. C. y M. C. ÖHMAN M, 2003. Coral and fish distribution patterns in Mafia Island Marine Park, Tanzania: fish-habitat interactions. *Hydrobiologia*, **498**: 191-211

- GARZA-PÉREZ, J. R. A., A. B. LEHMANN y J. E. ARIAS-GONZÁLEZ, 2004. Spatial prediction of coral reef habitats: Integrating ecology with spatial modeling and remote sensing. *Marine Ecology Progress Series*, **269**: 141-152
- GERKING, S. D., 1994. *Feeding ecology of fish*. Academic Press, San Diego, 416 p.
- GLYNN, P. W., 1973. Ecology of a Caribbean coral reef. The porites reef-flat biotope: Part II. Plankton community with evidence for depletion. *Marine Biology*, **22**: 1-22
- GLYNN, P. W., 2004. High complexity food webs in low-diversity eastern pacific reef-coral communities. *Ecosystems*, **7**: 358-367
- GONZÁLEZ-SANSÓN, G. y C. AGUILAR-BETANCOURT, 2003. Variaciones espaciales y temporales en la abundancia de las especies dominantes de peces de arrecife de coral en la Costa de la Ciudad de la Habana, Cuba. *Investigaciones Marinas*, **24** (2): 99-110
- GOREAU, T. F., 1959. The ecology of Jamaican reefs: Species composition and zonation. *Ecology*, **40**: 67-90
- GUZMÁN, M. H. y J. CORTÉS, 1993. Arrecifes coralinos del Pacífico Oriental Tropical: Revisión y perspectivas. *Biología Tropical*, **41** (3): 535-557
- HALFORD, A. R. y A. A. THOMPSON, 1994. *Visual census surveys of reef fish*. Australian Institute of Marine Science, Townsville. Standard Operational Procedure Number 3, 22 p.
-

- HARVEY, E., D. FLETCHER y M. SHORTIS, 2002. Estimation of reef fish length by divers and by stereo-video A first comparison of the accuracy and precision in the field on living fish under operational conditions. ***Fisheries Research*, 57**: 255-265
- HATCHER, B. G., 1981. The interactions between grazing organisms and the epilithic algal communities of coral reef: A quantitative assessment. ***Proc. Int. Coral Reef Symp., 4th 1***, 419-424
- HOWARD, R. K., 1989. The structure of a nearshore fish community of Western Australia: diel patterns and the habitat role of limestone reefs. ***Environmental biology of Fishes*, 24**: 93-104
- HUMANN, P., 1997. ***Reef Fish Identification***. New World Publications, Inc. USA, 396 p.
- INE, 1998. ***Programa de Manejo Parque Marino Nacional Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc, México***. Instituto Nacional de Ecología. México. 1^a edición, 161 p.
- INE, 2000. ***Programa de Manejo del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos***. Instituto Nacional de Ecología. México. 1^a edición, 225 p.
- JONES, R. S. y M. J. THOMPSON, 1978. Comparison of Florida reef fish assemblages using a rapid visual technique. ***Bulletin of Marine Science*, 28**:159-172
- JONES, G. P., D. J. FERRELL y P. F. SALE, 1991. Fish predation and its impact on the invertebrates of coral reefs and adjacent sediments. ***In***: Sale P. F. (Ed). ***The Ecology of Fishes on Coral Reefs***. Academic Press. USA, 754 p.
-

- JORDAN, D. E., 1979. Estructura y composición de arrecifes coralinos en la región noreste de la Península de Yucatán, México. **Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México**, **6** (1): 69-86
- KIMMEL, J. J., 1985. A new species-time method for visual assessment of fishes and its comparison with established methods. **Environmental biology of Fishes**, **12** (1): 23-32
- KJERFVE, B., 1981. Tides of the Caribbean Sea. **Journal of Geophysical Research**, **86** (c.5): 4243-4247
- KREBS, C. J., 1999. **Ecological Metodology**. 2nd Ed. Addison Wesley Longman, New York. 620 p.
- KREBS, C. J., 2001. **Ecología: Estudio de la distribución y la abundancia**. Oxford University Press, México. 753 p.
- LAGLER, K. F., J. E. BARDACH, R. R. MILLER y D. R. M. PASSINO, 1984. **Ictiología**. A. G. T. Editor, S. A., México, 489 p.
- LARA-DOMÍNGUEZ, A. L., 2001. Ecological structure of estuarine fish communities: Habitat linkages among dominant species groups in terminos lagoon México. Doctor of Philosophy, Louisiana State University, The Department of Oceanography and Coastal Sciences, 271 p.
- LECCHINI, D. A., M. ADJEROUD, M. S. PRATCHETT, L. CADORET y R. GALZIN, 2003. Spatial structure of coral reef fish communities in the Ryukyu Islands, southern Japan. **Oceanologica Acta**, **26**: 537-547
-

- MAGURRAN, A. E., 1988. ***Ecological diversity and its Measurement***. Princeton New Jersey, 180 p.
- McHUGH, J. L., 1967. Estuarine necton. ***In: J. H. Lauff (Ed.) Estuaries***. American Association for the Advancement of Science, Washington, D. C., 181-620
- MERINO, M., 1986. Aspectos de la circulación costera superficial del Caribe Mexicano con base en observaciones utilizando tarjetas de deriva. ***Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, 13*** (2): 31-46
- MERINO, M. y L. OTERO, 1991. ***Atlas Ambiental Costero, Puerto Morelos, Quintana Roo***. Centro de Investigaciones de Quintana Roo, Chetumal. 80 p.
- MOYLE, P. y J. CECH, 1988. ***Fishes: An Introduction to Ichthyology***. 2nd. ed. Prentice-Hall, 559 p.
- MULLIGAN, T. J. y F. F. SNELSON, 1983. Summer-season populations of epibenthic marine fishes in the Indian river lagoon system Florida. ***Florida Science, 46*** (3/4): 250-276
- MUNRO, J. L., 1983. ***Caribbean Coral Reef Fishery Resources***. ICLARM. Manila, Philippines. Studies and Reviews, 7: 276 p.
- MUÑOZ-CHAGÍN y G. DE LA CRUZ-AGÜERO, 1993. Corales del Arrecife de Akumal, Quintana Roo. ***In: Salazar, S. y N. González (Eds.) Biodiversidad Marina y Costera de México***. CONABIO/CIQRO, 865 p.
-

-
- NAGELKERKEN, I. y G. Van der VELDE, 2004. Are Caribbean mangroves important feeding grounds for juvenile reef fish from adjacent seagrass beds? ***Marine Ecology Progress Series*, 274**: 143-151
- NAGELKERKEN, I., G. VAN DER VELDE, M. W. GORISSEN, G. J. MEIJER, T. VAN'T HOF y C. DEN HARTOG, 2000. Importance of Mangroves, Seagrass Beds and the Shallow Coral Reef as a Nursery for Important Coral Reef Fishes, Using a Visual Census Technique. ***Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 51** (1): 31-44
- NÚÑEZ-LARA, E., 1998. Factores que determinan la estructura de la comunidad de peces arrecifales en el sur del Caribe Mexicano: un análisis multivariado. Tesis de Maestría. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Unidad Mérida, 103 p.
- PÉREZ-ESPAÑA, H., F. GALVÁN-MAGAÑA y L. A. ABITIA-CÁRDENAS, 1996. Variaciones temporales y espaciales en la estructura de la comunidad de peces de arrecifes rocosos del suroeste del Golfo de California, México. ***Ciencias Marinas*, 22** (3): 273-294
- PÉREZ-VELÁZQUEZ, P. A., 2000. Variación de la abundancia de peces dominantes del sistema fluvio-lagunar Pom-Atasta, Campeche, México: relaciones entre parámetros físicos y biológicos en escalas nictemerales. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de ciencias, 68 p.
- PIANKA, E. R., 1966. Latitudinal gradients in species diversity: a review of concepts. ***American Naturalist*, 100**: 33-46
- RANDALL, J. E., 1983. ***Caribbean Reef Fishes***. T. F. H. Publications, Inc. USA, 350 p.
-

- REYES-NIVIA, M. C., A. RODRIGUEZ-RAMÍREZ y J. GARZÓN-FERREIRA, 2004. Peces asociados a formaciones coralinas de cinco áreas del caribe colombiano: listado de especies y primeros registros para las áreas. ***Boletín Investigaciones Marinas Costeras***, **33**:101-115
- ROBERTSON, D. R., 1998. Do coral-reef fish faunas have a distinctive taxonomic structure?. ***Coral reefs***, **17**: 179-186
- ROBERTSON, D. R., N. V. C. POLUNIN Y K. LEIGHTON, 1979. The behavioral ecology of three Indian Ocean surgeonfishes (*Acanthurus lineatus*, *A. leucosternum* and *Zebrasoma scopas*): Their feeding strategies, and social and mating systems. ***Environmental Biology of Fishes***, **4**: 125-170
- RUSS, G. R., 1984a. Distribution and abundance of herbivorous grazing fishes in the central Great Barrier Reef. I. Levels of variability across the entire continental shelf. ***Marine Ecology Progress Series***, **20**: 23-34
- RUSS, G. R., 1984b. Distribution and abundance of herbivorous grazing fishes in the central Great Barrier Reef. II. Patterns of zonation of mid-shelf and outershelf reefs. ***Marine Ecology Progress Series***, **20**: 35-44
- SALE, P. F., 1991. ***The Ecology of Fishes on Coral Reefs***. Academic Press. USA, 754 p.
- SALE, P. F., 2002. ***Coral Reef Fishes: Dynamics and Diversity in a Complex Ecosystem***. Academic Press. USA, 576 p.
- SALE, P. F. y W. A. DOUGLAS, 1981. Precision and accuracy of visual census technique for fish assemblages on coral patch reefs. ***Environmental Biology of Fishes***, **6** (3-4): 333-339
-

-
- SALE, P. F. y B. J. SHARP, 1983. Correction for bias in visual censuses of coral reef fishes. ***Coral Reefs***, **2**: 37-42
- SALE, P. F. y W. A. DOUGLAS, 1984. Temporal variability in the community structure of fish on coral patch reefs and the relation of community structure to reef structure. ***Ecology***, **65** (2): 409-422
- SAMOILYS, M. A. y C. GARY, 2000. Determining methods of underwater visual census for estimating the abundance of coral reef fishes. ***Environmental Biology of Fishes***, **57**: 289-304
- SANCHEZ-GIL, P., A. YAÑEZ-ARANCIBIA y F. AMEZCUA-LINARES, 1981. Diversidad, distribución y abundancia de las especies y poblaciones de peces demersales de la sonda de Campeche (verano 1978). ***Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México***, **1** (8): 209-240
- SENTÍES, A. y M. CALLEJAS, 2002. Parte macroalgas, ***In***: Informe Final-Segunda Etapa, Proyecto de investigación “***Caracterización Ecológica del Sistema Arrecifal Coralino de Akumal, Caribe Mexicano***”. LIEC-CBS-UAMI (IF-SE), México, 178 p.
- SOKAL, R. y F. ROHLF, 1981. ***Biometry***. 2nd Ed. Freeman. New York. 859 p.
- SOROKIN, Y. I., 1995. ***Coral reef ecology***. 2nd Ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Germany, 465 p.
- SRINIVASAN, M., 2003. Depth distributions of coral reef fishes: the influence of microhabitat structure, settlement and post-settlement processes. ***Oecologia***, **137**: 76-84
-

- TALBOT F. H., C. RUSSELL y G. R. V. ANDERSON, 1978. Coral reef fish communities: unstable, high-diversity system? ***Ecological Monographs***, **48** (4): 425-440
- ter BRAAK, C. J. F., 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. ***Ecology***. **67** (5): 1167-1179
- ter BRAAK, C. J. F. y P. F. M. VERDONSCHOT, 1995. Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. ***Aquatic Science***, **57**, 255-289
- ter BRAAK, C. J. F. y I. C. PRENTICE, 2004. A theory of gradient analysis. ***Advances in Ecological Research***, **34**: 236-282
- TESSIER, E., P. CHABANET, K. POTHIN, M. SORIA Y G. LASSERRE, 2005. Visual censuses of tropical fish aggregations on artificial reefs: slate versus video recording techniques. ***Journal of experimental Marine Biology and Ecology***, **315**: 15-30
- THRESHER, R. E. y J. S. GUNN, 1986. Comparative analysis of visual census techniques for highly mobile reef-associated piscivores (Carangidae). ***Environmental Biology of Fishes***, **17** (2): 93-116
- VILLARREAL-CAVAZOS, A., H. REYES-BONILLA, B. BERMÚDEZ-ALMADA y O. ARIZPE-COVARRUBIAS, 2000. Los peces del arrecife de Cabo Pulmo, Golfo de California, México: Lista sistemática y aspectos de abundancia y biogeografía. ***Journal of Tropical Biology***, **48** (2/3)
-

- WATSON M. y J. L. MUNRO, 2004. Settlement and recruitment of coral reef fishes in moderately exploited and overexploited Caribbean ecosystems: implications for marine protected areas. ***Fisheries Research*, 69**: 415-425
- WILLIAMS, D. McB., 1982. Patterns in the distribution of fish communities across the central Great Barrier Reef. ***Coral Reefs*, 1**: 35-43
- WILLIAMS, D. McB., 1991. Patterns and Processes in the Distribution of Coral Reef Fishes. ***In***: Sale P. F. (Ed). ***The Ecology of Fishes on Coral Reefs***. Academic Press. USA, 754 p.
- WILLIAMS D. McB. y A. I. HATCHER, 1983. Structure of fish communities on outer slopes of inshore, mid-shelf and outer shelf reefs of the Great Barrier Reef. ***Marine Ecology Progress Series*, 10** (3): 239-50
- WILLIAMS, I. D. y N. V. C. POLUNIN, 2001. Large-scale associations between macroalgal cover and grazer biomass on mid-depth reefs in the Caribbean. ***Coral Reefs*, 19**: 358-366
- WINEMILLER, K. O., 1995. Factors driving temporal and spatial variation in aquatic flood-plain food webs. ***In***: Polis G. A. y K. O. Winemiller (Eds.) ***Food webs***, Chapman y Hall, New Cork, 312 p.
- YÁÑEZ-ARANCIBIA, A. y A. L. LARA-DOMÍNGUEZ, 1983. Dinámica ambiental de la boca de Estero Pargo y estructura de sus comunidades de peces en cambios estacionales y ciclos de 24 horas (Laguna de Términos, sur del Golfo de México).). ***Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 10** (1): 85-116
-

YÁÑEZ-ARANCIBIA, A. y J. W. DAY, 2005. Ecosistemas vulnerables, riesgo ecológico y el record 2005 de huracanes en el Golfo de México y Mar Caribe. Instituto Nacional de Ecología, 1-6

YÁÑEZ-ARANCIBIA, A. y R. NUGET, 1977. El papel ecológico de los peces en estuarios y lagunas costeras. **Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México**, 4 (1): 107-114

YÁÑEZ-ARANCIBIA, A., A. L. LARA-DOMÍNGUEZ, P. SANCHEZ-GIL, I. VARGAS-MALDONADO, P. CHAVANCE, F. AMEZCUA-LINARES, A. AGUIRRE-LEÓN y S. DÍAZ-RUIZ, 1982. Ecosystem dynamic and nictemeral and seasonal programming of fish community structure in a tropical estuarine inlet, México. **In:** Lasserre, P. y H. Postma (Eds.) Costal Lagoons, **Oceanológica Acta**, 5 (4): 462 p.

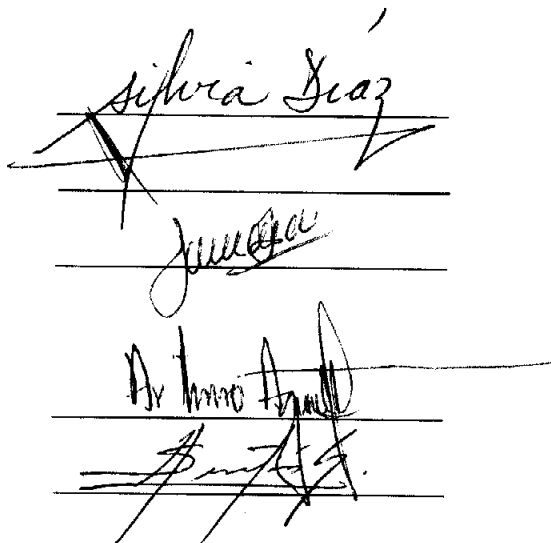
El jurado designado por la
División de ciencias Básicas y de la Salud
de la Unidad Iztapalapa aprobó la tesis que presentó

Jorge Christian Alva Basurto

El día 8 de enero del 2007

Comité Tutorial

Codirectora: M. en C. Silvia Díaz Ruiz
Codirector: Dr. Manuel Castillo Rivera
Asesor: Dra. Ana Laura Lara Domínguez
Sinodal: M. en C. Arturo Aguirre-León
Sinodal: Dr. Abel Sentíes Granados



The image shows three sets of horizontal lines, each with a handwritten signature written across them. The first signature is 'Silvia Díaz Ruiz', the second is 'Manuel Castillo Rivera', and the third is 'Arturo Aguirre León'. The fourth signature, 'Abel Sentíes Granados', is partially obscured by the bottom edge of the page.