INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS
CICIMAR-IPN

ESTRUCTURA COMUNITARIA Y TRÓFICA DE LA ICTIOFAUNA CAPTURADA CON REDES AGALLERAS EN ISLA SAN JOSÉ, B.C.S., MÉXICO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN
MANEJO DE RECURSOS MARINOS

PRESENTA:

MARINA SOLEDAD IRIGOYEN ARREDONDO

LA PAZ, B.C.S DICIEMBRE DEL 2013.

SIP-14

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de **La Paz, B.C.S.,** siendo las **10:00** horas del día **21** del mes de **Noviembre** del **2013** se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de **CICIMAR** para examinar la tesis titulada:

"ESTRUCTURA COMUNITARIA Y TRÓFICA DE LA ICTIOFAUNA CAPTURADA CON REDES AGALLERAS EN ISLA SAN JOSÉ, B.C.S., MÉXICO"

Presentada por el alumno:

IRIGOYEN	**ARREDONDO**	**MARINA SOLEDAD**
Apellido paterno	materno	nombre(s)

Con registro:

A	1	2	0	3	4	4

Aspirante de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

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

LA COMISION REVISORA

Director(a) de Tesis

DR. LEONARDO ANDRÉS ABITIA CÁRDENAS

DRA. LAURA SÁNCHEZ VELASCO

DR. VÍCTOR HUGO CRUZ ESCALONA

DR. XCHEL GABRIEL MORENO SÁNCHEZ

DR. MARCIAL ARELLANO MARTÍNEZ

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

DRA. MARÍA MARGARITA CASAS VALDEZ

PODER EJECUTIVO FEDERAL ESTADOS UNIDOS MEXICANOS MEXICO, D.F.

IPN
CICIMAR
DIRECCION

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de **La Paz, B.C.S.,** el día **25** del mes **Noviembre** del año **2013**
el (la) que suscribe **BIOL. PESQ. MARINA SOLEDAD IRIGOYEN ARREDONDO** alumno(a) del
Programa de **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS**
con número de registro **A120344** adscrito al **CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS**
manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:
DR. LEONARDO ANDRÉS ABITIA CÁRDENAS
y cede los derechos del trabajo titulado:
"ESTRUCTURA COMUNITARIA Y TRÓFICA DE LA ICTIOFAUNA CAPTURADA CON REDES AGALLERAS EN ISLA SAN JOSÉ, B.C.S., MÉXICO"
al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

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

BIÓL. PESQ. MARINA SOLEDAD IRIGOYEN ARREDONDO
nombre y firma

CON MUCHO AMOR Y DEDICACIÓN PARA:

A Dios por bendecirme siempre

A mis padres: *Martín Irigoyen y Nora Arredondo, por ser los pilares en mi vida, por todo el amor, compresión y apoyo incondicional que siempre me han brindado*

A mi esposo e hijo *por darme la fortaleza e iluminar mi vida.*

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) así como al Programa de Formación de Investigadores del Instituto Politécnico Nacional (SIP 20130238) por el apoyo económico otorgado a través de las becas.

Al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) por brindarme el apoyo y el desarrollo profesional durante este tiempo, así como a mis profesores que de una u otra manera contribuyeron a mi formación académica.

A mi director al Dr. L. Andrés Abitia por aceptarme como su alumna, su apoyo, disposición y atención en la culminación de este trabajo así como su amistad brindada en todo este proceso.

A mi comité: Dra. Laura Sánchez, Dr. Xchel Moreno, Dr. Marcial Arellano y Dr. Victor Cruz, por sus atinadas sugerencias y el enriquecimiento al contenido de la tesis.

A Humberto Ceseña y César Casas, por su amable disposición y mantenerme informada ante todo trámite.

Al personal del Centro de Cómputo, Susy, Manuel Pacheco, Roberto, por su buen humor, por su paciencia y su amistad.

A mis compañeros y amigos del cubículo por siempre darme consejos en la culminación de esta etapa, por alegrarnos la mañana o la tarde siempre, a Itzi Burgos, Marian Camacho, Josué Yee, Edgardo Camacho, Marco Dapa y Liliana Hernández.

A mi madre Nora Arredondo por darme siempre tu apoyo en todo momento y en cada una de las etapas de mi vida, gracias por ser tan excelente madre, amiga, cómplice, gracias por iluminarme, cuidarme y entregarte en cuerpo y alma a tus hijos. Te amo.

A mi papá Martin Irigoyen por ser todo en mi vida, por protegerme y cuidarme cuando más te necesito, gracias por ser mi papá, por todo lo que eres te admiro y te amo.

A mi esposo e hijo, Gracias amor por tu paciencia, comprensión y sobre todo tus consejos para luchar por mis ideales, por ser un excelente compañero-amigo en esta etapa, como padres, como esposos, por tu bondad y sacrificio de tiempos dedicados a ustedes, ésta tesis lleva mucho de ti, gracias por siempre estar a mi lado y no dejarme caer, a nuestro hijo Leonardo, porque a su tan corta edad me has enseñado muchas cosas, gracias mi bebé grandote por elegirme y ser tu mamí, eres la bendición más grande que pude haber recibido y todo lo hago por ustedes, Los AMO.

A mis hermanos Solimar y Martin Irigoyen, Dios me concedió la dicha de tener su misma sangre, Soly eres mi hermana mayor, la mandona, enfadosa, regañona, pero la quien siempre me cuidó y defendió hasta la secundaria y muy importante me diste la sobrinita más hermosa que pude tener, solo por ella soportaré tu malísimo humor, Martin tu porque eres el más chico, fuiste mi muñequito, mi nenuco, a quien siempre cuidé y protegí en ausencia de mi madre, por todo eso y mucha más los amo.

A mi abuelita Soledad Martínez, eres la mujer que más admiro aparte de mi madre, por ser tan luchona y antes que nada ser una excelente madre y abuelita, te amoo abue.

A mi madrina Elvia Aguirre, por siempre guiarme y apoyarme en todas las etapas de mi vida, Gracias Madrina.

A mi amiga Itzigueri Burgos, por toda su honestidad, consejos, chistes y sobre todo su buena actitud que siempre me contagias. Gracias amiga por estar a mi lado en todo este tiempo. A Gabriela Ruiz, Gaby por ser tan buena amiga, por todos los detalles que siempre has tenido hacia mí, por todas esas pláticas que hemos tenido, gracias por tu tiempo y amistad.

A Ethel Apango por ser tan renegona, pero excelente amiga y compañera, gracias amiga por todos esos momentos buenos que hemos pasado juntas, por tu buen ánimo y porque siempre tienes un consejo positivo ante cualquier situación. Gracias.

Finalmente y no menos importantes a mis suegros y a mi cuñado, les estaré infinitamente agradecida por todo ese apoyo hacia el cuidado de mi hijo, por su comprensión y paciencia, por todos esos buenos momentos que he pasado con ustedes, gracias por permitirme ser parte de su familia.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS I
LISTA DE TABLAS III
GLOSARIO V
RESUMEN VIII
ABSTRACT IX
1. INTRODUCCIÓN 1
2. ANTECEDENTES 4
3. JUSTIFICACIÓN 9
4. HIPÓTESIS 10
5. OBJETIVO GENERAL 10
5.1 PARTICULARES 10
6. MATERIAL Y MÉTODOS 11
6.1. ÁREA DE ESTUDIO 11
6.2. TRABAJO DE CAMPO Y LABORATORIO 11
6.3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN 13
6.3.1. ESTRUCTURA COMUNITARIA 13
6.3.1.1. COMPOSICIÓN ESPECÍFICA GENERAL 13
6.3.1.2. ABUNDANCIA Y BIOMASA RELATIVA 13
6.3.2. ÍNDICES ECOLÓGICOS 14
6.3.2.1. RIQUEZA ESPECÍFICA 14
6.3.2.2. ÍNDICE DE DIVERSIDAD DE SHANNON-WIENER 14
6.3.2.3. EQUITATIVIDAD DE PIELOU 15
6.3.2.4. DOMINANCIA COMUNITARIA (IVB, *Sanders*) 15
6.3.2.5. DIVERSIDAD TAXONÓMICA 16
6.3.2.6. SIMILITUD COMUNITARIA 17
6.3.3. ANÁLISIS TOPOLÓGICO DE REDES TRÓFICAS 17
6.3.3.1. PROPIEDADES TOPOLÓGICAS 18
6.3.3.2. ÍNDICE DE IMPORTANCIA POSICIONAL 20
7. RESULTADOS 22
7.1. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN 22
7.1.1. TEMPERATURA 22
7.1.2. ESTRUCTURA COMUNITARIA 23
7.1.2.1. COMPOSICIÓN ESPECÍFICA GENERAL 23
7.1.2.2. ABUNDANCIA Y BIOMASA RELATIVA 23
7.1.3. SIMILITUD COMUNITARIA 24
7.2.4. ÍNDICES ECOLÓGICOS 26
7.2.4.1. DOMINANCIA COMUNITARIA (IVB, *Sanders*) 29
7.2.4.2. DIVERSIDAD TAXONÓMICA 32
7.2.5. PROPIEDADES TOPOLÓGICAS 33
7.2.5.1. PROPIEDADES GENERALES DE LA TRAMA TRÓFICA 33
7.2.6. PROPIEDADES TOPOLÓGICAS DE LA TRAMA TRÓFICA 34
7.2.6.1. ÍNDICE DE CONECTANCIA (*C*) 34
7.2.6.2. PROPIEDADES LOCALES 35
7.2.6.2.1 ÍNDICE DEL GRADO DEL NODO (*D*) 35

7.2.7 PROPIEDADES DE MESOESCALA 39
7.2.7.1 ÍNDICE DE INTERMEDIACIÓN (*BC*) 39
7.2.7.1 ÍNDICE DE CERCANÍA (*CC*) 43
7.2.8 CONTROL ECOSISTÉMICO 47
8. DISCUSIÓN 59
8.1. ESTRUCTURA COMUNITARIA 59
8.1.1. COMPOSICIÓN ESPECÍFICA 59
8.1.2. ABUNDANCIA Y BIOMASA RELATIVA 61
8.1.3. SIMILITUD COMUNITARIA 63
8.1.4. ÍNDICES ECOLÓGICOS 64
8.1.5. DOMINANCIA COMUNITARIA (IVB, *Sanders*) 66
8.1.6. DIVERSIDAD TAXONÓMICA 67
8.2. TOPOLOGÍA DE LA TRAMA TRÓFICA 70
8.2.1. PROPIEDADES DE ESCALA LOCAL 71
8.2.2. PROPIEDADES DE MESOESCALA 73
8.2.3. CONTROL ECOSISTÉMICO DE LA RED TRÓFICA 75
9. CONCLUSIONES 79
10. LITERATURA CONSULTADA 81
11. ANEXOS 97

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1.	Ubicación geográfica de Isla San José, indicando las zonas de muestreo (números arábigos).	**12**
2.	Temperatura promedio durante el periodo de muestreo en Isla San José, B.C.S. México.	**22**
3.	Contribución porcentual en la abundancia numérica (a) y en la biomasa (b) de las especies más importantes durante el periodo de muestreo en Isla San José, B.C.S., México.	**24**
4.	Análisis de similitud índice de Bray-Curtis con ligamiento simple (a) para las localidades de muestreo y (b) Escalamiento multidimensional no métrico (MDS) para los datos de similitud en la Isla San José B.C.S., México.	**25**
5.	Índices ecológicos sobre el criterio de la abundancia numérica y su variación espacial y temporal, donde: a)= abundancia, b)= riqueza, c)= diversidad H' y d)= equidad J' de Isla San José, B.C.S., México.	**27**
6.	Índices ecológicos sobre el criterio de la biomasa (kg) y su variación espacial y -temporal, donde: a)= abundancia, b)= riqueza, c)= diversidad H' y d)= equidad J' de Isla San José, B.C.S., México.	**28**
7.	Dominancia comunitaria del IVB de *Sanders* de Isla San José y su variación espacio-temporal, donde: a) AGISJ =arreglo general, b) ZPEC=zona protegida época cálida, c) ZPEF=zona protegida época fría, d) ZEEC= zona expuesta época cálida y e) ZEEF= zona expuesta época fría.	**31**
8.	Representación bivariada del índice de distinción taxonómica promedio (Δ^+) contra la variación de la distinción taxonómica (Λ^+), donde: AGISJ = arreglo general, para ZPEC= zona protegida época cálida, ZPEF= zona protegida época fría, ZEEC= zona expuesta época cálida y ZEEF= zona expuesta época fría de Isla San José, B.C.S., México. Las isolíneas (elipses) representan la probabilidad al 95% de confianza, basado en 1000 simulaciones para un rango de 50, 60 y 70 especies.	**32**

9.	Representación de la red trófica de Isla San José, cada nodo representa un depredador o una presa, considerando 4 niveles; verde= productores primarios (algas y plancton), naranja= invertebrados y algunos crustáceos, azul= peces y negro= tiburones. El tamaño de los nodos es proporcional al índice del grado del nodo (*D*), donde: **a) AGISJ** =arreglo general de isla san José, **b) ZPEC**=zona protegida época cálida, **c) ZPEF**=zona protegida época fría, **d) ZEEC**= zona expuesta época cálida, **e) ZEEF**= zona expuesta época fría.	**37**
10.	Distribución de frecuencias del grado del nodo de la red trófica por escenarios: **a) AGISJ=** arreglo general, **b) ZPEC=** zona protegida época cálida, **c) ZPEF=** zona protegida época fría, **d) ZEEC=** zona expuesta época cálida y **e) ZEEF=** zona expuesta época fría, mostrando la distribución potencial con la ecuación y coeficiente de determinación.	**38**
11.	Representación de la red trófica de Isla San José, cada nodo representa un depredador o una presa, considerando 4 niveles; verde= productores primarios (algas y plancton), naranja= invertebrados y algunos crustáceos, azul= peces y negro= tiburones. El tamaño de los nodos es proporcional al índice de Intermediación (*BC*), donde: **a) AGISJ** =arreglo general de isla san José, **b) ZPEC**=zona protegida época cálida, **c) ZPEF**=zona protegida época fría, **d) ZEEC**= zona expuesta época cálida, **e) ZEEF**= zona expuesta época fría.	**41**
12.	Distribución de frecuencias de índice de mesoescala (Intermediación) para la red trófica en los cuatro escenarios: **a) AGISJ=** arreglo general, **b) ZPEC=** zona protegida época cálida, **c) ZPEF=** zona protegida época fría, **d) ZEEC=** zona expuesta época cálida y **e) ZEEF=** zona expuesta época fría.	**42**
13.	Representación de la red trófica de Isla San José, cada nodo representa un depredador o una presa, considerando 4 niveles; verde= productores primarios (algas y plancton), naranja= invertebrados y algunos crustáceos, azul= peces y negro= tiburones. El tamaño de los nodos es proporcional al índice de Cercanía (*CC*), donde: **a) AGISJ** =arreglo general de isla san José, **b) ZPEC**=zona protegida época cálida, **c) ZPEF**=zona protegida época fría, **d) ZEEC**= zona expuesta época cálida, **e)**	**45**

ZEEF= zona expuesta época fría.

14.	Distribución de frecuencias de índice de mesoescala (Cercanía) para la red trófica en los cuatro escenarios: **a) AGISJ=** arreglo general, **b) ZPEC=** zona protegida época cálida, **c) ZPEF=** zona protegida época fría, **d) ZEEC=** zona expuesta época cálida y **e) ZEEF=** zona expuesta época fría.	**46**

LISTA DE TABLAS

Tabla		**Página**
1.	Índices ecológicos por zonas: **ZPEC**= zona protegida época cálida, **ZPEF**= zona protegida época fría, **ZEEC**=zona expuesta época cálida y **ZPEF**=zona expuesta época fría de Isla San José, B.C.S., México.	**29**
2.	Valores de conectancia para la red general de Isla San José e incluye los cuatro escenarios donde: **AGISJ** =arreglo general, **ZPEC**=zona protegida época cálida, **ZPEF**=zona protegida época fría, **ZEEC**= zona expuesta época cálida y **ZEEF**= zona expuesta época fría de Isla San José, B.C.S., México.	**34**
3.	Índice de importancia topológica de la red trófica general (**AGISJ**) de Isla San José, los grupos de familias están organizados de mayor a menor basados en su importancia (*IK)*. K_{bu}= importancia de abajo-arriba (*bottom-up)*, K_{td}= importancia de arriba-abajo (*top-down)*, K_{dir}= importancia de efectos directos, K_{ind}= importancia de efectos indirectos.	**48**
4.	Índice de importancia topológica de la red trófica de la zona protegida época cálida (**ZPEC**) de Isla San José, los grupos de familias están organizados de mayor a menor basados en su importancia (*IK)*. K_{bu}= importancia de abajo-arriba (*bottom-up)*, K_{td}= importancia de arriba-abajo (*top-down)*, K_{dir}= importancia de efectos directos, K_{ind}= importancia de efectos indirectos.	**51**
5.	Índice de importancia topológica de la red trófica de la zona protegida época fría (**ZPEF**) de Isla San José, los grupos de familias están organizados de mayor a menor basados en su importancia (*IK)*. K_{bu}= importancia de abajo-arriba (*bottom-up)*, K_{td}= importancia de arriba-abajo (*top-down)*, K_{dir}= importancia de efectos directos, K_{ind}= importancia de efectos indirectos.	**53**

6. Índice de importancia topológica de la red trófica de la zona expuesta época cálida (**ZEEC**) de Isla San José, los grupos de familias están organizados de mayor a menor basados en su importancia (*IK)*. K_{bu}= importancia de abajo-arriba (*bottom-up)*, K_{td}= importancia de arriba-abajo (*top-down)*, K_{dir}= importancia de efectos directos, K_{ind}= importancia de efectos indirectos. **55**

7. Índice de importancia topológica de la red trófica de la zona expuesta época fría (**ZEEF**) de Isla San José, los grupos de familias están organizados de mayor a menor basados en su importancia (*IK)*. K_{bu}= importancia de abajo-arriba (*bottom-up)*, K_{td}= importancia de arriba-abajo (*top-down)*, K_{dir}= importancia de efectos directos, K_{ind}= importancia de efectos indirectos. **57**

GLOSARIO

Arrecife: Ecológicamente, es cualquier estructura sumergida que ofrece un sustrato duro para el crecimiento de vida marina (Thomson *et al.,* 2000).

Biodiversidad: Se refiere al número de poblaciones de organismos y especies distintas además comprende todos los tipos de variabilidad biológica como abundancia, riqueza de especies y funciones que desarrollan dentro del ecosistema incluyendo la variabilidad genética (Moreno, 2001).

Bottom up: Control ecosistémico de abajo hacia arriba en donde la estructura y función están gobernadas por los productores primarios (Achá y Fontúrbel, 2003).

Cadena alimenticia: Es la fracción lineal de las relaciones alimenticias entre los organismos (Moreno-Sánchez, 2009).

Cascada trófica: Efecto trófico indirecto en el cual, la disminución poblacional de un depredador reduce la población en las presas de sus presas (Jordán *et al.,* 2006).

Conectancia: Es el número real de interacciones dentro de la red trófica (Martínez, 1992).

Control ecosistémico: Mecanismo que determina y controla la función de las redes tróficas (Achá y Fontúrbel, 2003).

Comunidad: Conjunto de poblaciones de diferentes niveles tróficos que interactúan, concurren en un tiempo y espacio determinado (Krebs, 2003).

Dominancia: Grupos o especies que controlan una gran parte del flujo de energía disponible dentro del ecosistema y son aquellas que caracterizan a la comunidad (Palacios-Salgado, 2005).

Ecosistema: Compuesto por comunidades biológicas las cuales interactúan con el ambiente físico y químico con ecosistemas adyacentes (Montoya-Campos, 2009).

Efectos directos: Efecto que produce un depredador sobre el tamaño poblacional de sus presas por interacción directa (alimentación) (Menge, 1995).

Efectos indirectos: Efecto que produce un depredador sobre el tamaño poblacional de una especie a través de la depredación de las poblaciones de sus presas (Menge, 1995).

Escala libre: Estructura teórica que presentan las redes tróficas en la cual la mayoría de las especies presentan baja conectividad y unas cuantas con alta conectancia (Jordano *et al.,* 2009).

Estructura comunitaria: Orden de importancia particular en el que se encuentra alguna unidad ecológica en un área determinada y es definida en términos de sus atributos como riqueza, dominancia, diversidad, entre otros (Moreno, 2001).

Estructura trófica: Organización de una comunidad, basándose en el número de niveles tróficos o de transferencias de energía (Moreno-Sánchez, 2009).

Grupo trófico: Conjunto de especies con una misma afinidad en la organización en la red alimenticia de la comunidad, se caracterizan por presentar similitudes biológicas que les confiere realizar funciones tróficas homólogas (Navia-López, 2013).

Hábitat: Espacio en el que se presenta un organismo en conjunto con otros con los cuales coexiste y los elementos climáticos que lo afectan (Krebs, 2003).

Ictiofauna: Fauna que integra el grupo de los peces (Aburto-Oropeza, 1999).

Mundo pequeño: Se refiere a la forma en cómo se organizan los nodos de una red y se caracteriza por los nodos que están fuertemente conectados entre sí que con el resto de los componentes de la red, generando pequeñas agrupaciones dentro de la red trófica (Montoya y Solé, 2002).

Nodos: Son los elementos que integran la red, hace referencia a las especies o grupos de especies (Jordano *et al.,* 2009).

Redes complejas: Conjuntos de muchos nodos conectados, que interactúan de alguna manera ya sea por alimentación u otro tipo de relación (Aldana, 2006).

Redundancia ecológica: Se refiere a la presencia de dos o más especies en un ecosistema realizando funciones ecológicas similares (Naeem, 1998).

Resiliencia: Capacidad de un ecosistema para recuperarse de los cambios o presiones antropogénicas que afectan su estado inicial (Pascual, 2006).

Robustez: Es la persistencia de las características en respuesta a las perturbaciones que se encuentre sometido el sistema (Pascual, 2006).

Seguro biológico: Aquellos ecosistemas con altos niveles de redundancia son más resistentes que aquellos más simples (Montoya *et al.,* 2001).

RESUMEN

Muchos estudios mencionan la elevada diversidad de especies que existe en los arrecifes rocosos, destacando su importancia ecológica, determinada por el elevado número de interacciones interespecíficas e intraespecíficas en las que intervienen. Sin embargo, los estudios realizados en el Golfo de California centrados en el estudio de las comunidades ictiofaunísticas se han limitado a descripciones de listados de peces o de la estructura comunitaria, por lo cual, es poco lo que se conoce sobre el funcionamiento de la comunidad de peces a partir de su participación en la estructura y su posición topológica de las relaciones tróficas, así mismo se desconocen los tipos de mecanismos de regulación que gobiernan la comunidad, control de arriba hacia abajo (top-down) o de abajo hacia arriba (bottom-up). En este contexto, el objetivo del presente estudio fue caracterizar las variaciones espaciales y temporales en la estructura comunitaria y alimentarias de la comunidad de peces de Isla San José, B.C.S. Para la descripción de la estructura comunitaria se emplearon índices ecológicos (riqueza, diversidad, dominancia, entre otros) e índices topológicos (grado del nodo, centralidad, intermediación, cercanía, entre otros). El elenco taxonómico de la comunidad de peces de ISJ está constituido por 29 familias, 47 géneros y 63 especies. Las familias que presentaron mayor abundancia y biomasa fueron Haemulidae (<30%) y Carangidae (<10%). Sobre la base de la similitud en la composición y abundancia de las especies, las localidades de muestreo fueron agrupadas en una zona expuesta y una zona protegida. Así mismo de acuerdo a los cambios en la temperatura se definieron dos épocas climáticas, una época fría y una época cálida. Los valores más altos de los atributos ecológicos (abundancia, biomasa, riqueza de especies, diversidad, equidad y diversidad taxonómica) se registraron en la zona protegida época cálida (ZPEC) y en la zona expuesta época cálida (ZEEC). Respecto al índice de valor biológico (IVB) las especies dominantes fueron *Microlepidotus inornatus*, *Mulloidichthys dentatus* y *Haemulon scudderi*, La red trófica de Isla San José se conformó por 69 nodos, representados por depredadores y presas (37 familias de peces y 28 grupos de invertebrados), productores primarios (cuatro grupos), con un total de 282 interacciones tróficas. A nivel local (grado del nodo) y mesoescala (intermediación y cercanía) los grupos tróficos inferiores (detritus, algas bentónicas, microfauna) e invertebrados (cangrejos y camarones) ocuparon los primeros lugares de importancia estructural en la red y estos grupos participan en la propagación y velocidad de los efectos indirectos en la trama trófica. El control ecosistémico de la red trófica de Isla San José es de abajo hacia arriba (*Bottom-up*), es decir, grupos tróficos de la parte inferior (detritus, algas bentónicas, zooplancton y microfauna) de la trama trófica son los responsables del control de la red trófica en estudio, dicho tipo de control se mantiene espacialmente y temporalmente, con ello se sugiere que los grupos inferiores son esenciales en la estabilidad de la red y su pérdida o extirpación pudieran ocasionar alteraciones o modificaciones importantes en la estructura de la misma.

Palabras clave: Arrecife rocoso, peces, estructura comunitaria, interacciones tróficas, Isla San José, Golfo de California.

ABSTRACT

Many studies indicated the high diversity of species that exist in the rocky reefs, highlighting its important ecology, In the amount of intra and interspecific relationships that many species share; however, studies in the Gulf of California have focused on ichthyologic listings descriptions and/or community structure, therefore, little is known about the type of control and function of the fish community from its participation in the topological position structure and trophic relationships. In this context, the objective of this study was to characterize the spatial and temporal variations in community structure and trophic fish community of San José Island, B.C.S. For a description of the community structure was used ecological indices and the topological analysis was constructed predator-prey matrix with literature information. Were made six starts bimonthly (2000-2001) and was used how method of capturing the gill nets (gill). In the taxonomic composition of the fish community were a total of 5,735 fish belonging to 29 families, 47 genera and 63 species. Families that had higher abundance and biomass were Haemulidae (<30%) and Carangidae (<10%). According to the analysis of similarity (Bray-Curtis) showed two groups, the first for the locations (L1, L3, L4, L5 and L6) corresponding to the protected area, and a second group with locations (L2, L7, L8, L9 and L10) located in the exposed area of the island, together with the two climatic periods, the description of the analysis was performed by areas and eras. The highest values of ecological attributes (abundance, biomass, species richness, diversity, evenness and taxonomic diversity) were recorded in the ZPEC (protected area warm season) and ZEEC (exposed area warm season). Regarding biological value index (IVB) the dominant species were *Microlepidotus inornatus*, *Mulloidichthys dentatus* y *Haemulon scudderi* and showed little variation space-time. The food web of San Jose Island was formed by 69 nodes, represented by predators and prey (37 families of fish and 28 invertebrate groups), primary producers (four groups), with a total of 282 trophic interactions. A local (node degree) and mesoscale (intermediation and closeness) lower trophic groups (detritus, benthic algae, microfauna) and invertebrates (crabs and shrimp) occupied the top of structural importance in the network and these groups participate in the speed propagation and the indirect effects on the food web. Trophic components of the network are a potential distribution (*free-scale*), that is, very few nodes with high numbers of connections. Controlling food web ecosystem of San Jose Island is from the bottom up (*bottom-up*) of lower trophic groups (detritus, benthic algae, zooplankton and microfauna) and spatiotemporally remains the same control, thereby suggesting that the lower groups are essential for the stability of the network, its loss or alteration or removal may cause significant changes in the structure of it.

Keywords: Rocky reef, fishes, community structure, trophic interactions, Isla San Jose, Gulf of California.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los temas con mayor relevancia en la biología marina durante las últimas décadas es el estudio de las comunidades, específicamente su ictiofauna, ya que presentan una enorme variedad morfológica y la mayoría de ellos presenta amplia tolerancia a diferentes factores ambientales que les permiten adaptarse a una elevada diversidad de hábitats (Nelson, 2006). Al respecto, la mayoría de los peces que habitan en aguas tropicales y subtropicales, el 40% están asociados a las plataformas continentales poco profundas (Lowe-McConnell, 1999; Nelson, 2006, Eschmeyer *et al.*, 2010). En este sentido, los arrecifes rocosos, son sistemas marinos costeros altamente complejos caracterizados por la gran cantidad de relaciones intraespecíficas e interespecíficas, los cuales resaltan por su gran biodiversidad (Sale, 1991; Villegas-Sánchez *et al*., 2009). Asimismo, la ictiofauna de arrecifes rocosos constituye un componente principal de las pesquerías artesanales y recreacionales importantes en muchas regiones del mundo (Richards y Lindeman, 1987; Montoya-Campos, 2009). Tiempo atrás se creía que la pesca artesanal no representaba un riesgo en el funcionamiento del ecosistema por ser de menor escala y tamaño (Mathew, 2001), pero recientemente, ésta pesquería ha tenido una rápida expansión por lo tanto una mayor o igual capacidad de alteración al ecosistema que las pesquerías de gran escala (Montoya-Campos, 2009).

Estudios previos han corroborado éstas alteraciones, documentando la disminución de las abundancias de depredadores y especies de peces con potencial interés comercial (p.e. pargos, cabrillas, meros, atunes, tiburones, entre otros) y el efecto en la modificación de la estructura y funcionamiento del ecosistema por parte

de la pesquería (Pauly *et al.,* 1998; Bellwood *et al.,* 2003; Myers y Worm, 2003) y aunado a la reciente pérdida de biodiversidad por diferentes presiones antropogénicas como la degradación y alteración de hábitats por citar algunos, repercute en la estabilidad y resiliencia de las comunidades marinas (Pauly *et al*., 1998; Jennings y Kaiser, 1998; Dunne *et al*., 2002; Jordan y Scheuring, 2004; Sala *et al*., 2004; Yemane *et al*., 2005; Worm *et al*., 2006; Navia *et al*., 2012).

En este sentido, durante la última década se ha extendido el análisis de la trama trófica en los ecosistemas marinos a través de la perspectiva funcional ya que describen las interacciones biológicas, el flujo energético de un ecosistema y la manera en que afectan la dinámica y estabilidad de los mismos (Cohen, 1989; Pimm, 2000; Ruiter *et al*., 2005; Cruz-Escalona *et al.,* 2010). Particularmente, los peces se posicionan en casi todos los niveles tróficos dentro de la trama alimentaria y por ende, desempeñan funciones importantes en la organización y transferencia de energía en diferentes niveles, esto conlleva a que se pueda afectar la abundancia y distribución de otras especies a través de complejas interacciones tróficas (Gulland, 1983; Pauly, 1984; Wetherbee y Cortés, 2004; Cruz-Escalona *et al.,* 2010).

Uno de los acercamientos al análisis de la trama trófica es el estudio de los hábitos alimentarios mediante la observación directa en los contenidos estomacales, sin embargo, se ha limitado a una descripción cualitativa o cuantitativa de las presas que constituyen las dietas de las especies en diferentes escalas de espacio y tiempo (Cruz-Escalona *et al.,* 2010; Abitia-Cárdenas *et al.,* 2011; Moreno-Sánchez *et al.,* 2011, 2012). En estudios recientes sobre la ecología trófica de peces han utilizado otras aproximaciones metodológicas como el análisis de isótopos estables (Wells y

Rooker, 2009) y ácidos grasos (Young *et al.,* 2010) con la finalidad de aportar información más precisa sobre la contribución real de los componentes alimentarios al metabolismo de los depredadores. Sin embargo, se ha reconocido que es necesario la implementación de modelos que integren todo este conocimiento para comprender de forma integral la manera en que participan los peces en los procesos de organización de la comunidad en la que participan (Navia-López, 2013).

Es por ello, que los modelos de análisis de redes tróficas teorizan los comportamientos de las especies a través de las interacciones que presentan, además facilita la caracterización de la red trófica de manera sistemática, reduciendo así, la cantidad de información requerida, es decir, este análisis no requiere de información adicional como se centra en datos empíricos mediante la literatura especializada sobre los hábitos alimentarios de las especies (Chiu, 2013). En este contexto, el objetivo del presente estudio fue caracterizar la estructura comunitaria y trófica mediante descriptores ecológicos, propiedades estructurales, así como sus variaciones espacio-temporales con la finalidad de evaluar sus posibles efectos sobre la función y tipo de control ecosistémico en Isla San José, B.C.S., México.

2. ANTECEDENTES

Durante las últimas cinco décadas el Golfo de California ha recibido importantes contribuciones para el conocimiento de su ictiofauna, diversas han sido las investigaciones en cuanto a la determinación de patrones de distribución de las especies, para la evaluación de las abundancias, descripción de nuevas especies, listados ictiofaunísticos, guías de identificación, ampliaciones de su distribución, entre otras (Walker, 1960; Thomson y Gilligan, 1983; Chávez-Ramos, 1986; Abitia-Cárdenas *et al.,* 1994; Allen y Robertson, 1994; Rodríguez-Romero *et al.,* 1994; Balart-Paez *et al.,* 1995; Castro-Aguirre *et al.,* 1995; Fischer *et al.,* 1995; Galván-Magaña *et al.,* 1996).

Así como investigaciones realizadas en islas y arrecifes rocosos de comunidades de peces en donde se han estudiado aspectos relevantes de la estructura comunitaria y de su organización trófica (Pérez-España *et al.,*1996; Sánchez–Ortiz *et al*., 1997; Jiménez-Gutiérrez, 1999; Villareal-Cabazos, 2000; Aburto-Oropeza y Balart-Páez, 2001; Arreola-Robles y Elorduy-Garay, 2002; Galván-Piña *et al*., 2003; Álvarez-Filip, 2004; Campos-Dávila *et al*., 2005; Álvarez-Filip y Reyes-Bonilla, 2006; Moreno-Sánchez, 2009; Saldívar-Lucio, 2010).

Estudios realizados específicamente en Isla San José, han sido muy reducidos y sólo han considerado algunos aspectos descriptivos en la estructura de las comunidades de peces. Así Uscanga-Aguilar (2002) con el uso de redes agalleras, describió la estructura comunitaria de peces, a través de índices ecológicos clásicos y observó un patrón estacional en el número de especies, riqueza de especies y la diversidad. Villegas-Sánchez *et al.* (2009) utilizaron censos visuales y describieron

las asociaciones de peces de arrecife rocoso en cinco localidades de la zona occidental de isla de San José, encontraron un aumento de los índices ecológicos durante la época cálida y concluyeron que la profundidad y exposición al oleaje son las variables que mostraron mayor influencia en la estructura comunitaria. Montoya-Campos (2009) estudió los cambios en la estructura de las asociaciones de especies capturadas por pescadores artesanales en el área del Islote El Pardito, localizado al sur de la Isla, menciona que es una zona importante de pesca por los altos volúmenes de captura y concluye que los cambios en la diversidad fueron en los meses cálidos.

Recientemente, Palacios-Salgado *et al.* (2012), realizaron un listado ictiofaunístico de la Isla, el cual fue generado a partir de tres fuentes de información; los registros de las capturas efectuadas en la isla usando diferentes artes de pesca y censos visuales, los registros de especies depositadas en las colecciones ictiológicas nacionales e internacionales y los reportes existentes en la literatura científica. Los autores concluyeron que la riqueza de peces, representa el 32% de la ictiofauna registrada en el Golfo de California e incluye 24 especies endémicas. Asimismo, Barjau-González *et al.* (2012a) a partir de censos visuales, analizaron las variaciones estacionales y espaciales de la comunidad de peces, reportaron 112 especies, además encontraron una relación positiva de los índices ecológicos y los meses cálidos.

Barjau-González *et al.* (2012b) mediante censos visuales, evaluaron los cambios en la diversidad taxonómica de la comunidad de peces, dentro de sus hallazgos más relevantes fue que Isla San José presenta una elevada diversidad

taxonómica a lo reportado en otras regiones al sur del Golfo de California. Finalmente Del Moral-Flores *et al.* (2013) realizaron un inventario de las especies ícticas asociadas a los complejos insulares del Golfo de California, entre sus resultados más relevantes reportaron que Isla San José es la tercera con mayor riqueza específica (243).

En cuanto a los antecedentes de estudios en donde se caractericen las dietas de peces con base a la revisión de sus contenidos estomacales y sobre investigaciones de las propiedades estructurales de las redes tróficas en Isla San José, a la fecha no existe ningún reporte. Aunque es pertinente señalar que existen trabajos efectuados en otras latitudes que son de relevante importancia por ser investigaciones en donde se han implementado algunas aproximaciones que abordan el estudio de las relaciones tróficas a través del análisis de redes (Martínez, 1992; Dunne *et al*., 2009; Gaichas y Francis, 2008; Navia *et al.,* 2012), por lo que se constituyen como antecedentes de suma relevancia para el presente trabajo.

En este sentido, Montoya y Solé (2002) realizaron una comparación de las redes tróficas de los lagos Little Rock (EE.UU.), Silwood Park (Inglaterra) y Ythan (Reino Unido). Sus resultados muestran que el comportamiento de las tres redes son muy similares, presentan estructura de mundo-pequeño y mencionan que eliminando a las especies más conectadas; las redes se muestran altamente frágiles y de este modo concluyen que las especies más conectadas pueden considerarse como especies clave, dado a que su eliminación tienen grandes efectos sobre la estabilidad y persistencia de la red, asimismo sugieren que no solo los depredadores tope deben considerarse como especies clave sino también especies ubicadas

topológicamente relevantes. Abarca-Arenas *et al.* (2007) analizaron la red trófica y sus variaciones espacio-temporales (lluvias y nortes) en la costa de Alvarado, Veracruz, México, sus resultados mostraron que el detritus es el componente más importante a nivel local (grado del nodo) como en los de intermediación, además que en la época de lluvias la red trófica es más homogénea y concluyen que los camarones Peneidos se constituyen importantes para la cohesión estructural de la red trófica.

Hernández *et al.* (2008) con peces de arrecifes rocosos en la Habana, Cuba, elaboraron un modelo conceptual de las relaciones tróficas, a través de contenidos estomacales e información en la literatura, sus resultados demostraron el efecto de cascada, por la escases de depredadores topes de gran tamaño y dominancia de muy pocas especies de niveles tróficos inferiores.

Xochihua-Simon (2009), evaluó los cambios en la estructura de las redes tróficas y sus variaciones temporales en la laguna camaronera de Alvarado, Veracruz. Sus resultados mostraron que los grupos tróficos conformados fueron omnívoros y concluye que el detritus es la base de la trama alimenticia. Molina-Hernández (2011), analizó la estructura trófica y sus variaciones temporales de la fauna de acompañamiento en la pesca de camarón de Alvarado, Veracruz. Los hallazgos más relevantes fue que la estructura trófica presenta alta homogeneidad como resultado de la estabilidad de las interacciones y concluye que el detritus es relevante por las altas conexiones que mantiene en la estructura y como eslabón en la cadena alimenticia para enlazar los niveles tróficos.

Navia *et al.* (2010, 2012) evaluaron el papel de los elasmobranquios de la red trófica del Pacífico colombiano, dentro de sus resultados más importantes fue que los depredadores juegan un papel importante en el control de arriba hacia abajo y en la propagación de efectos indirectos en la red, asimismo, concluyeron que eliminando los depredadores tope de la trama trófica los mesodepredadores no juegan un papel importante en la estructura vertical de la red. Recientemente, Navia-López (2013) evaluó la función ecológica de los tiburones y rayas en el ecosistema costero de Colombia, sus resultados mostraron que los depredadores tope ocuparon los primeros lugares de importancia estructural y no se produjo la liberación de los mesodepredadores, además concluyó que los tiburones de alto nivel trófico son fundamentales en la estructura y estabilidad de las redes tróficas marinas, y su pérdida altera los patrones estructurales de las mismas, al no poder ser reemplazados por ninguna otra especie.

3. JUSTIFICACIÓN

Ante la reducción o pérdida de especies muchos estudios han mencionado fuertes efectos ecológicos (p.e. extirpación de especies, cascadas tróficas, etc.) y modificaciones en el control ecosistémico (p.e. control de arriba-abajo "*top-down"* y el control de abajo-arriba *"buttom-up"*) en redes tróficas. De manera aislada se ha caracterizado la estructura y las interacciones tróficas (estudios sobre hábitos alimentarios), sin embargo, complementando ambos enfoques en donde incluyan aproximaciones teóricas como los análisis topológicos, ha sido una vía alterna para aproximarse al conocimiento detallado no solo de la dieta como tal, sino las interacciones de las especies, su estructura y función dentro del ecosistema.

Dichas relaciones no han sido estudiadas en Isla San José, donde la presión principal es mediante la pesca artesanal, dejando con incertidumbre las interacciones tróficas directas e indirectas que establecen las especies dentro de la red y los potenciales efectos ecológicos que trae consigo en el funcionamiento del arrecife rocoso. En este sentido, el presente estudio aporta una de las primeras contribuciones que analiza las variaciones espaciales y temporales de la ictiofauna de Isla San José bajo el uso de índices derivados de la teoría de grafos: índices locales (grado del nodo) e índices de mesoescala (intermediación y cercanía).

4. HIPÓTESIS

Si existen variaciones espacio-temporales en la composición de especies de la comunidad de peces capturados con redes agalleras en Isla San José, estas deberían de reflejarse en las propiedades topológicas de la trama alimentaria.

5. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar la estructura comunitaria y trófica mediante descriptores ecológicos, propiedades estructurales, así como sus variaciones espacio-temporales con la finalidad de evaluar sus posibles efectos sobre la función y tipo de control ecosistémico de Isla San José en el Golfo de California.

5.1 PARTICULARES:

- Elaboración del elenco sistemático de la ictiofauna de Isla San José, Golfo de California, vulnerable a ser capturada con redes de enmalle de tipo agallera.
- Describir las variaciones espacio-temporales de la estructura íctica, a través de índices ecológicos tradicionales (abundancia, biomasa, riqueza específica, diversidad, equidad, dominancia) y diversidad taxonómica (distintividad taxonómica promedio).
- Representar la trama alimentaria y sus variaciones espaciales y temporales de la comunidad íctica de Isla San José, Golfo de California, a través de las interacciones depredador-presa (nodos).
- Evaluar el tipo de control ecosistémico y sus variaciones espaciales y temporales en la red trófica de Isla San José, Golfo de California.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Área de estudio:

Isla San José se localiza en el Golfo de California frente a las costas de Baja California Sur, está situada al norte de bahía de La Paz y se separa de la península de Baja California por un canal de 7 a 11 km, mide aproximadamente 26.5 km de largo por 7.2 a 9.6 km de ancho, con una superficie de 194 km^2, su zona serrana alcanza los 633 m sobre el nivel medio del mar (Gaviño, 1979). En sus costas protegidas (al oeste) la isla presenta playas de pendientes bajas, a las cuales desembocan diferentes cañadas; por el contrario en las costas expuestas, dirigidas al Golfo de California, la mayor parte del perímetro termina en abruptos acantilados. Isla San José se ubica en el denominado complejo insular de Baja California Sur. La isla en particular se encuentra delimitada al norte por los puntos 25°04´39”N - 110°45´33”W y 25°07´42”N-110°39´59”W y al sur por 24°51´23”N - 110°35´27”W y 24°55´15”N - 110°29´52”W (Fig. 1).

6.2 Trabajo de campo y laboratorio:

Se realizaron seis salidas bimestrales durante septiembre del 2000 a agosto del 2001, para la cual se ubicaron 10 localidades de muestreo alrededor de Isla San José (Fig.1). La selección de las localidades de muestreo se realizó sobre la base de la topografía de la línea de costa y el tipo de sustrato.

El arte de pesca utilizado para la captura fue una red de enmalle tipo agallera fabricada con hilo de monofilamento de nylon del número 47, de 140 m de longitud

por tres m de caída y de nueve cm de luz de malla. Esta red fue colocada por la tarde a las18:00 h y recobrada por la mañana a las 06:00 h. La red se colocó de forma oblicua a la línea de costa y la posición interior fue sobre el fondo.

En cada sitio se describieron algunas de las características físicas del hábitat, principalmente tipo de sustrato y profundidad. Asimismo, se registró la temperatura superficial del agua, empleando un termómetro de cubeta con precisión de ± 0.1 ^{0}C.

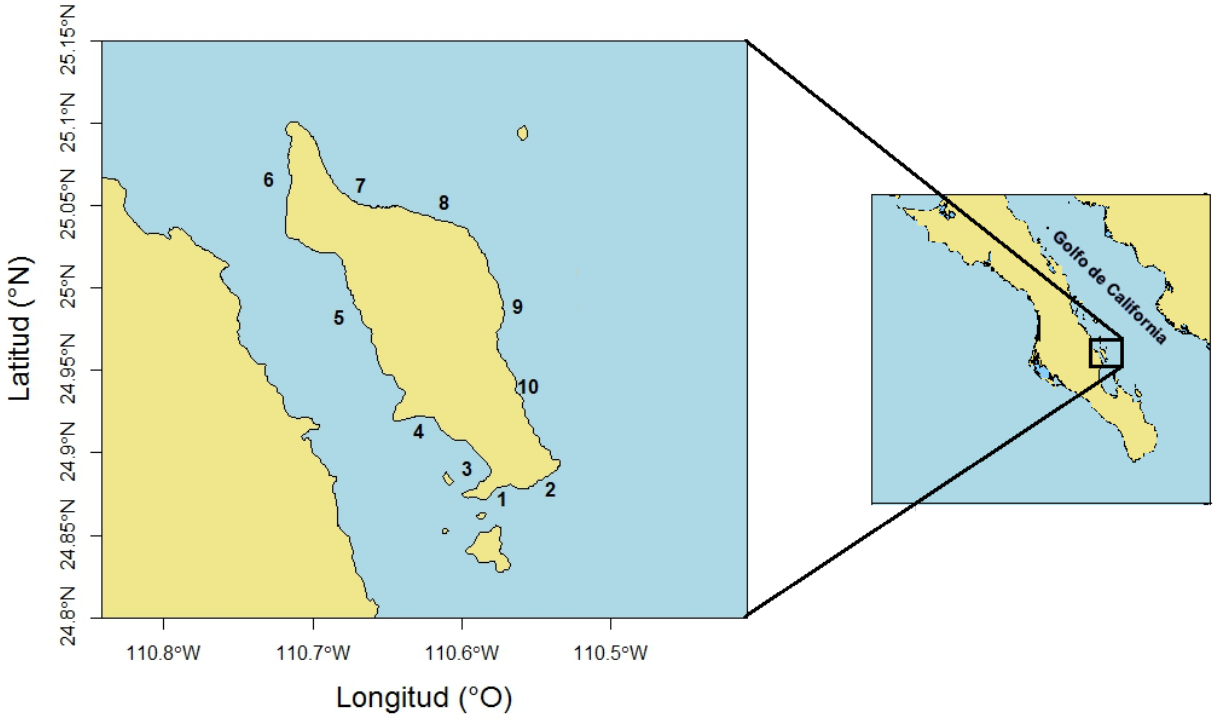

Figura 1.- Ubicación geográfica de Isla San José, indicando las zonas de muestreo (números arábigos).

Los peces capturados fueron pesados (g), medidos (longitud total, LT, longitud estándar LS y longitud furcal LF, en cm), contados e identificados en el campo cuando fue posible. Se conservaron un mínimo de dos organismos por cada especie, los cuales fueron fijados en una solución de formaldehido al 10% para su traslado al Laboratorio de Ecología de Peces del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas

(CICIMAR) en La Paz, Baja California Sur, México, donde fueron procesados y confirmada su diagnosis taxonómica.

Para la identificación de las especies se utilizaron claves convencionales y especializadas (Compagno, 1984; Allen y Robertson, 1994; Fischer *et al*., 1995; Thomson *et al*., 2000).

6.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Con la información generada, se realizó el análisis cuantitativo de la estructura de la comunidad de peces de Isla San José, por zonas: Protegida en sus dos épocas: cálida y fría (ZPEC y ZPEF) y Expuesta en sus dos épocas (ZEEC y ZEEF).

6.3.1 ESTRUCTURA COMUNITARIA

6.3.1.1 COMPOSICIÓN ESPECÍFICA GENERAL

A partir de la diagnosis taxonómica de las especies de peces capturadas con las redes agalleras, se elaboró un listado sistemático de acuerdo con Nelson (2006).

6.3.1.2 ABUNDANCIA Y BIOMASA RELATIVA

La abundancia relativa es un índice empleado para identificar las especies más importantes dentro de la comunidad ya sea en su aportación en número o peso. Mediante estos índices, se denotó la importancia en número y en biomasa de cada especie y los cambios espaciales y temporales que presentaron los organismos en la comunidad de la Isla (Horn y Allen, 1985).

$$\%\,\mathrm{N} = \frac{N_i}{NT} * 100 \qquad\qquad \%\,\mathrm{P} = \frac{P_i}{PT} * 100$$

Donde: %N = porcentaje de la abundancia relativa de los organismos; N_i = número de individuos de la especie *i* capturada; *NT* = número total de los individuos de todas las especies; %P = porcentaje de la biomasa relativa; P_i = peso total de la especie *i*; *PT* = peso total de la muestra.

6.3.2 ÍNDICES ECOLÓGICOS

6.3.2.1 RIQUEZA ESPECÍFICA

Este índice, se basó en el conteo del número de especies presentes en los muestreos efectuados. De esta manera se registró el número de especies por zonas de muestreo y por épocas climáticas. Es importante destacar que una limitación de la riqueza específica es que generalmente el número total de especies que conforman una comunidad es desconocido y por lo tanto el alcance del índice se limita a la eficiencia del muestreo (Bravo-Núñez, 1991).

6.3.2.2 ÍNDICE DE DIVERSIDAD DE SHANNON-WIENER

La diversidad de especies contempla dos componentes: el primero es el número de especies en la comunidad, que es referido como riqueza específica y el segundo es la equitatividad de las especies y se refiere a la distribución de la abundancia entre las especies que conforman la comunidad (Ludwig y Reynolds, 1988). El índice de diversidad Shannon-Wiener (*H'*), por su amplia aplicación, permite establecer comparaciones con otras áreas geográficas en las cuales se haya aplicado el mismo índice, el cual tiene la ventaja que se ajusta a una distribución estadística de tipo normal, lo cual permite hacer inferencias a posteriori. Sin

embargo, este índice también tiene la desventaja de ser susceptible a las especies raras o migratorias. Se expresa de la siguiente manera:

$$H' = -\sum_{i=1}^{s} (P_i)\,(\ln P_i)$$

Donde: *H*' = índice de diversidad de Shannon-Wiener; $P_i = n_i / N$; n_i = número de individuos de la especie *i*; *N* = número total de individuos de todas las especies. Este índice proporciona una mejor información sobre la comunidad al considerar tanto el número de especies como la abundancia de las mismas.

6.3.2.3 EQUITATIVIDAD DE PIELOU

El índice de equitatividad de Pielou (*J'*, Pielou, 1975) considera cuan equitativamente se reparten los individuos entre las especies (Magurran, 1988) y su expresión matemática es la siguiente:

$$J' = \frac{H'}{H_{max}}$$

Donde: *J*' = índice de equitatividad de Pielou; *H'* = índice de diversidad de Shannon-Wiener; H_{max} = diversidad máxima.

La relación entre diversidad observada y diversidad máxima es por consiguiente tomada como una medida de uniformidad (Pielou, 1975); los valores próximos a 1 son propios de una uniformidad alta de las muestras, mientras que los próximos a 0 expresaron la dominancia de alguna especie.

6.3.2.4 DOMINANCIA COMUNITARIA (Índice de valor biológico de *Sanders*)

Expresa mediante puntajes, la representatividad y permanencia de las especies para una zona durante un número de campañas definido. Para su obtención se utilizó el criterio de Loya-Salinas y Escofet (1990), los cuales consideran que se debe tomar el número de especies que acumulen el 95 % del total en la campaña en que la cantidad de especies sea máxima. Se expresa de la siguiente manera:

$$IVB_i = \sum_{j=1}^{M} Pu_{ij}$$

Donde: *IVB* = índice de valor biológico; Pu_{ij} = puntaje de la especie *i* en la muestra *j; i* = abundancia relativa de cada especie; *j* = estaciones de recolección; *M* = número de estaciones.

6.3.2.5 DIVERSIDAD TAXONÓMICA

Los índices de diversidad taxonómica son una generalización del índice de diversidad de Simpson, pero éste toma en cuenta la relación taxonómica entre las especies (Warwick y Clarke, 1995; Clarke y Warwick, 1998). Estos índices además de la riqueza de especies, permiten evaluar el arreglo taxonómico de listados de especies de zonas particulares en relación a la riqueza de especies de la región a la que pertenecen. No son dependientes del tamaño de muestra, esfuerzo de muestreo, y no requieren del supuesto de normalidad de los datos (Warwick y Clarke, 1995). Su fórmula es la siguiente:

$$\Delta^* = \frac{\sum i < j \, W_{ij} * X_i * X_j}{\sum i < j \, X_i * X_j} = \frac{\sum W_k \, f_k}{\sum f_k}$$

Donde Xi = abundancia de *i* número de especies; Wij = peso dado por la distancia taxonómica que relaciona a las especies *i* y *j* dentro de la jerarquía taxonómica; *k* = número del nivel correspondiente a la jerarquía taxonómica (1,…k).

En el presente trabajo se aplicaron los índices de distinción taxonómica promedio (Δ^+) y variación de la distinción taxonómica ($\wedge^+$). Los niveles taxonómicos utilizados fueron clase, orden, familia, género y especies, para lo cual se empleó clasificación jerárquica propuesta por Nelson (2006).

El índice de distinción taxonómica promedio o delta positivo (Δ^+, Clarke y Warwick, 1998), es un indicador cualitativo y solo considera la presencia/ausencia de las especies para su cálculo, para estimarlo se sumó la longitud de las rutas a través de un árbol taxonómico, conectando todos los pares de especies en la lista y dividido por el número de rutas.

La variación de la distinción taxonómica o lambda positivo ($\wedge^+$, Clarke y Warwick, 2001), se basó en la equidad de la distribución del nivel taxonómico en el árbol taxonómico y se representó de la siguiente manera:

$$\Delta^+ = \frac{\{\sum\sum i < j\, w_{ij}\}}{\left\{\frac{s\,(s-1)}{2}\right\}}$$

Donde: *s* = número de especies observadas; *i*, *j* = jerarquías taxonómicas sobre esas especies; ω*ij* = peso de la diferencia taxonómica entre la especie *i* y el primer nodo común (jerarquía taxonómica) con la especie *j*.

6.3.2.6 SIMILITUD COMUNITARIA

Se empleó el análisis jerárquico de agrupamiento aglomerativo, para detectar la similitud en la composición de la comunidad íctica entre las dos diferentes zonas y para cada una de las épocas del año. Esta técnica, partió de una matriz de similitud (índice *Bray-Curtis*) y sucesivamente se fueron uniendo las muestras en grupos que se formaron a partir del valor de similitud más alta. El proceso concluyó con una sola unidad que contenía todas las muestras. Posteriormente para corroborar la significancia de las uniones, se utilizó la técnica de escalamiento multidimensional no métrico (MDS), el cual, utilizan rangos (orden de observaciones) en vez de las magnitudes de las distancias, termina en una medida llamada *stress*. Para tener una buena bondad de ajuste, el *stress* debe ser inferior a 0.05 y valores arriba de 0.2 la bondad es pobre (Clarke y Warwick, 2001). Estos análisis fueron calculados con el software PRIMER 6.0.

6.3.3 ANÁLISIS TOPOLÓGICO DE REDES TRÓFICAS

El análisis topológico de la red trófica de Isla San José se basó en una matriz binaria de interacciones alimentarias (1, 0), en la cual, la presencia de un ítem presa en la dieta de un depredador se representó con el número 1 y la ausencia del mismo se registró con el número 0. Es importante señalar que la construcción de la matriz de dietas se limitó exclusivamente en las interacciones tróficas (depredador-presa),

sin importar la magnitud de las mismas, para lo cual, se realizó una búsqueda exhaustiva de información sobre la dieta de las especies que conforman la estructura comunitaria de Isla San José en la literatura especializada (artículos científicos indizados, informes técnicos, tesis, bases de datos electrónicas, etc.). El alcance de los resultados se limita específicamente a las propiedades topológicas de la red en estudio.

Las propiedades estructurales de la red fueron descritas sobre la base de los trabajos de Gaichas y Francis (2008) y Navia-López (2013). Los índices empleados para dicha descripción fueron de escala local (índice del grado del nodo), mesoescala (índices de centralidad: intermediación y cercanía) y de importancia topológica (*IK*). Los índices fueron calculados en los programas UCINET VI (Borgatti *et al.,* 1996) y *FLKS* 1.1 (Jordán, 2001). A continuación se presenta una descripción breve de los índices topológicos utilizados:

6.3.3.1PROPIEDADES TOPOLÓGICAS

Conectancia (*C*): representa la proporción de todas las interacciones tróficas posibles y se calculó a partir de la siguiente función:

$$C = L/(N-1)^2$$

Donde: *L* = número de interacciones observadas y *N* = número de nodos que conforman la red (Martínez, 1992; Navia-López, 2013).

Grado del nodo (*D*): es el índice de más fácil aplicación y a su vez, el menos informativo. Sólo considera el número nodos con los que se conecta un determinado nodo. El índice de grado se calculó de la siguiente manera:

$$D_i = D_{inp,i} + D_{out,i}$$

Donde: $D_{inp,i}$ = suma de sus presas (*in-degree*,) y $D_{out,i}$ = Suma de sus depredadores (*out-degree*,).

Índices de centralidad: se utilizaron dos índices de centralidad, el primero, se basó en la intermediación de los nodos "*betweenness centrality*" (por sus siglas en inglés) o "índice de intermediación" y su representación es *BC*. Esta medida cuantificó qué tan frecuentemente un nodo *i* es la vía más corta entre cada par de nodos *j* y *k*. El índice estandarizado para el nodo *i* (BC_i) es:

$$BC_i = \frac{2\left(\sum_{i \leq k} {g_{ik}(i)}/{g_{ik}}\right)}{(N-1)\,(N-2)}$$

Donde: $i \neq j$ y k, g_{jk} = número de pasos más cortos e iguales entre nodos; j y k, y $g_{jk}(i)$ = número de estos pasos en los cuales el nodo i es incidente (g_{jk} podría ser igual a uno).

El denominador es dos veces el número de pares de nodos sin el nodo *i*. Este índice mide qué tan central es un nodo en el sentido de ser incidente en muchos de los pasos más cortos en la red. De tal modo que si el BC_i es alto para un grupo trófico *i*, esto significa que la pérdida de este nodo (grupo funcional) podría afectar significativamente la red trófica.

El segundo índice, fue el de centralidad "índice de cercanía" o "*closeness centrality*" (por sus siglas en inglés y se representa *CC*), con el cual se cuantificó qué tan cortos son los pasos de un nodo dado al resto de los nodos (Wassermann y Faust, 1994; Navia-López, 2013), siendo su versión estandarizada (CC_i):

$$CCi = \frac{N-1}{\sum_{i=1}^{N} d_{ij}}$$

donde: $i \neq j$, d_{ij} = distancia de los pasos más cortos entre los nodos *i* y *j* en la red.

Este índice midió qué tan cercano es un nodo a los demás. Valores altos de éste índice es propio de aquellos nodos que al ser eliminados afectan a la mayoría de los otros grupos.

Las diferencias para las diferentes propiedades topológicas de la red (p.e. grado, centralidad, intermediación) entre escenarios se probaron mediante la prueba de Kruskal-Wallis debido a que no se cumplieron con los supuestos de la estadística paramétrica.

6.3.3.2 ÍNDICE DE IMPORTANCIA POSICIONAL

Índice de importancia topológica (*IK*): se utilizó para cuantificar la importancia de las especies en el ecosistema, de acuerdo a su posición en la red trófica. Este índice consideró información adicional a los nodos directamente conectados entre sí y fue definido en detalle por Jordán (2001) y Jordán *et al.* (2006):

$$IK = \sum_{c=1}^{n} \frac{1}{d_c}(1 + K_{bc}) + \sum_{e=1}^{m} \frac{1}{f_e}(1 + K_{te})$$

donde; n= número de depredadores de la especie i; d_c= número de presas de un depredador y K_{bc}= índice de importancia de abajo hacia arriba (*bottom-up*) del predador; m= número de presas de la especie i; f_e= número de depredadores de la presa y K_{te}= índice de importancia de arriba hacia abajo (*top-down*) de la presa.

Para el nodo *i*, la primera suma cuantifica los efectos de abajo hacia arriba (K_{bu}) mientras que la segunda lo hace con los efectos de arriba hacia abajo (K_{td}). Los productos que contienen los valores de *IK* ($\Sigma K_{bc}/d_c + \Sigma K_{te}/f_e$) se refieren a los efectos indirectos (K_{indir}) y aquellos que no contienen *K* ($\Sigma 1/d_c + \Sigma 1/f_e$) se refieren a los efectos directos (K_{dir}).

La suma de los valores de los efectos ($K_{bu} + K_{td}$) y ($K_{indir} + K_{dir}$) es igual al índice *IK*. Este índice además de aportar información sobre el número de conexiones entre nodos, evalúa cómo estos vecinos se conectan entre sí (Jordán *et al.,* 2006), enfatizando en interacciones verticales sobre interacciones horizontales (p.e. cascadas tróficas vs. competencia aparente). Asimismo, caracteriza la importancia

posicional, separando efectos directos e indirectos, así como efectos "*bottom-up*" de efectos "*top-down*" en la red trófica (Jordán, 2001; Navia-López, 2013).

Estos índices fueron calculados para cinco diferentes escenarios (trama trófica Isla arreglo global, AGISJ; trama trófica zona protegida época cálida, ZPEC; trama trófica zona protegida época fría, ZPEF; trama trófica zona expuesta época cálida, ZEEC y trama trófica zona expuesta época fría ZEEF) los cuales fueron diseñados sobre la base de las variaciones espacio temporales de la presencia de las especies de la comunidad de peces.

7. RESULTADOS

7.1 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

7.1.1 TEMPERATURA

Los valores promedio de temperatura superficial fluctuaron entre 19.7 °C y 29.5 °C. De esta manera, se registraron dos periodos: uno cálido y uno frío (Fig. 2). El periodo cálido correspondió a los meses de septiembre, junio y agosto y se caracterizó por registrar las temperaturas más altas (25.6 °C a 29.5 °C); mientras que en la época fría se conformó por los meses de diciembre, febrero y abril, meses en donde se registraron los valores más bajos (19.7 °C a 20.9°C). De acuerdo a la prueba de variancia de una vía indicaron que hubo diferencias significativas en ambas épocas ($F_{(10,1)}$=696.3, p<0.05).

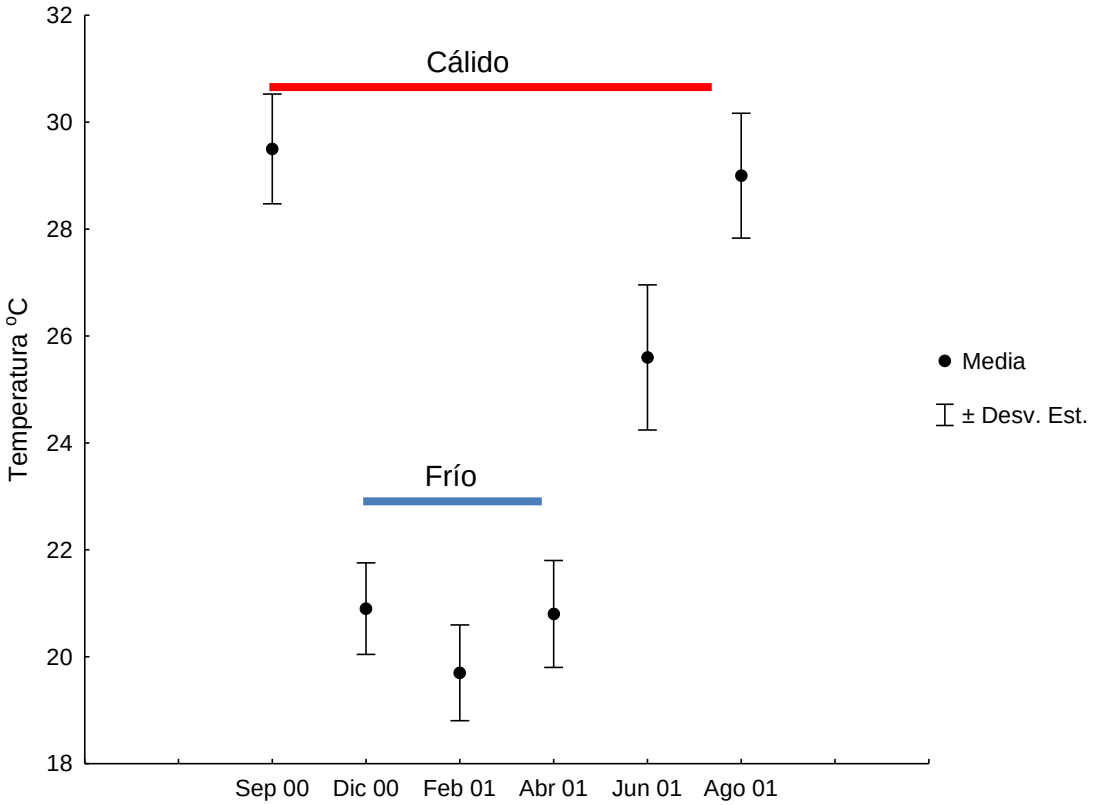

Figura 2. Temperatura promedio durante el periodo de muestreo en Isla San José, B.C.S. México.

7.1.2 ESTRUCTURA COMUNITARIA

7.1.2.1COMPOSICIÓN ESPECÍFICA GENERAL

Se capturó un total de 5,735 individuos pertenecientes a 29 familias distribuidas en 47 géneros y 63 especies. Las familias con mayor número de especies fueron Haemulidae (*s*= 9), Carangidae (*s*= 6 especies), Serranidae (*s*= 5), Lutjanidae (*s*= 5), Scombridae (*s*= 5) y Scaridae (*s*= 4). Las familias con mayor aporte en peso fueron Haemulidae, Scombridae, Carangidae, Mullidae, Kyphosidae y Triakidae. La biomasa total de los organismos capturados fue igual a 3,060 kg.

7.1.2.2 ABUNDANCIA Y BIOMASA RELATIVA

Del total de especies capturadas, las de mayor importancia numérica en orden decreciente fueron; *Microlepidotus inornatus, Haemulon scudderi, H. flaviguttatum, Mulloidichthys dentatus, Caranx caballus, Kyphosus analogus, H. sexfasciatum, Auxis thazard* y *H maculicauda*, las cuales en conjunto registraron más del 60% de la abundancia total (Fig. 3a).

Solo nueve de las 63 especies (*M. inornatus, Euthynnus lineatus, C. caballus, M. dentatus, K. analogus, Mustelus lunulatus, H. flaviguttatum, H. scudderi* y *A. thazard*) aportaron el 60% de la biomasa total (Fig. 3b). Espacio-temporalmente la abundancia y biomasa presentó una tendencia a disminuir en la zona expuesta durante la época fría (*n*=829 individuos y *p*=500 kg respectivamente), mientras que los valores más altos se registraron en la zona protegida durante la época cálida (*n*=2400 organismos y *p*=1252 kg respectivamente) (Tabla 1).

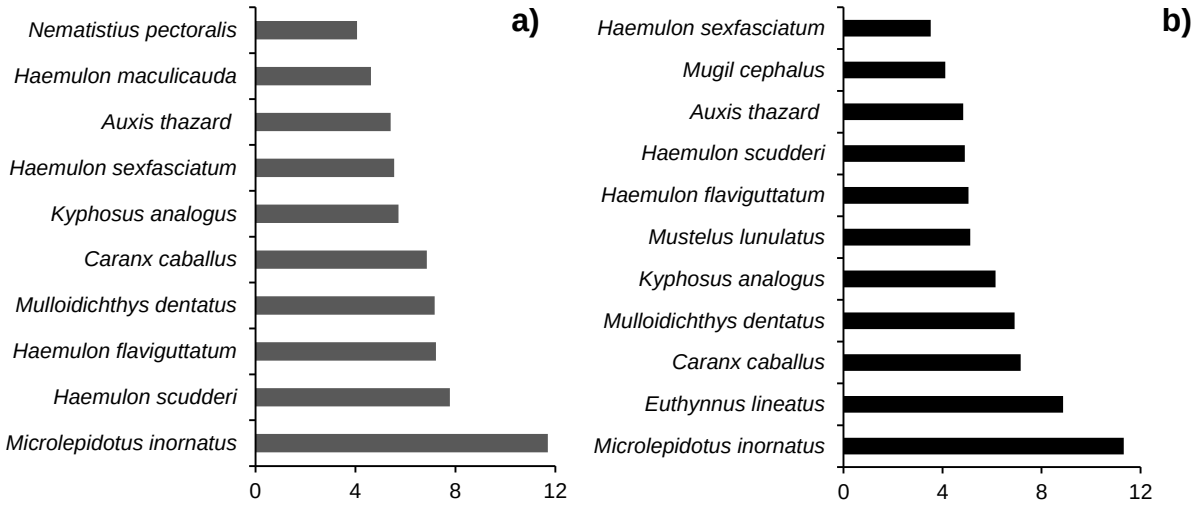

Figura 3. Contribución porcentual en la abundancia numérica (a) y en la biomasa (b) de las especies más importantes durante el periodo de muestreo en Isla San José, B.C.S., México.

7.1.3SIMILITUD COMUNITARIA

El análisis espacial de agrupamiento, en función de la abundancia de las especies, permitió observar dos grupos bien definidos, el primero integrado por las localidades (L1, L3, L4, L5 y L6) que corresponde a la zona protegida, y un segundo grupo que se incluye las localidades (L2, L7, L8, L9 y L10) ubicadas en la zona expuesta de la Isla (Fig.4a). Posteriormente, los resultados del análisis de escalamiento multidimensional no métrico (MDS) al 75% presento una bondad de ajuste de 0.04 con lo cual se corrobora la existencia de las dos zonas (Fig. 4b).

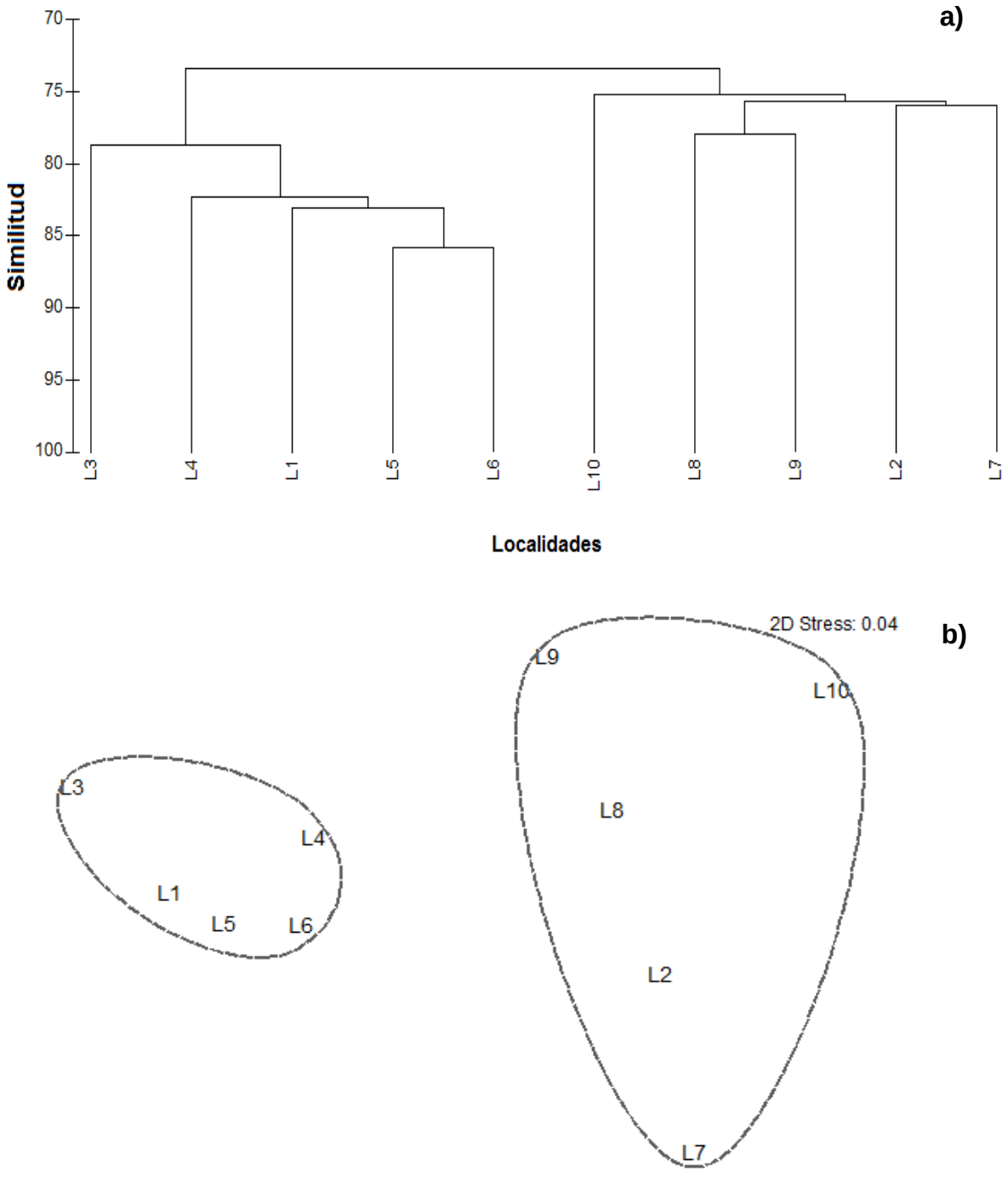

Figura 4. Análisis de similitud índice de Bray-Curtis con ligamiento simple (a) para las localidades de muestreo y (b) Escalamiento multidimensional no métrico (MDS) para los datos de similitud en Isla San José B.C.S., México.

7.2.4 ÍNDICES ECOLÓGICOS

A partir del reconocimiento previo de los dos periodos climáticos: cálido y frío (Fig. 2) y la separación de las zonas: protegida y expuesta; se realizó el análisis espacio-temporal de la composición de la comunidad ictiofaunística a partir de los índices ecológicos convencionales (riqueza específica, diversidad, equidad, etc.), así como de las propiedades topológicas de la trama alimentaria (índice de grado del nodo, centralidad, intermediación).

En la zona protegida-época cálida (ZPEC) se registraron los mayores valores referentes a los índices ecológicos (n=2400 s=59 *H'*=3.6 *J'*=0.85), mientras en la zona expuesta época fría (ZEEF) se presentaron los menores valores (n=829 s=36 *H'*=2.3 *J'*=0.78) (Tabla 1).

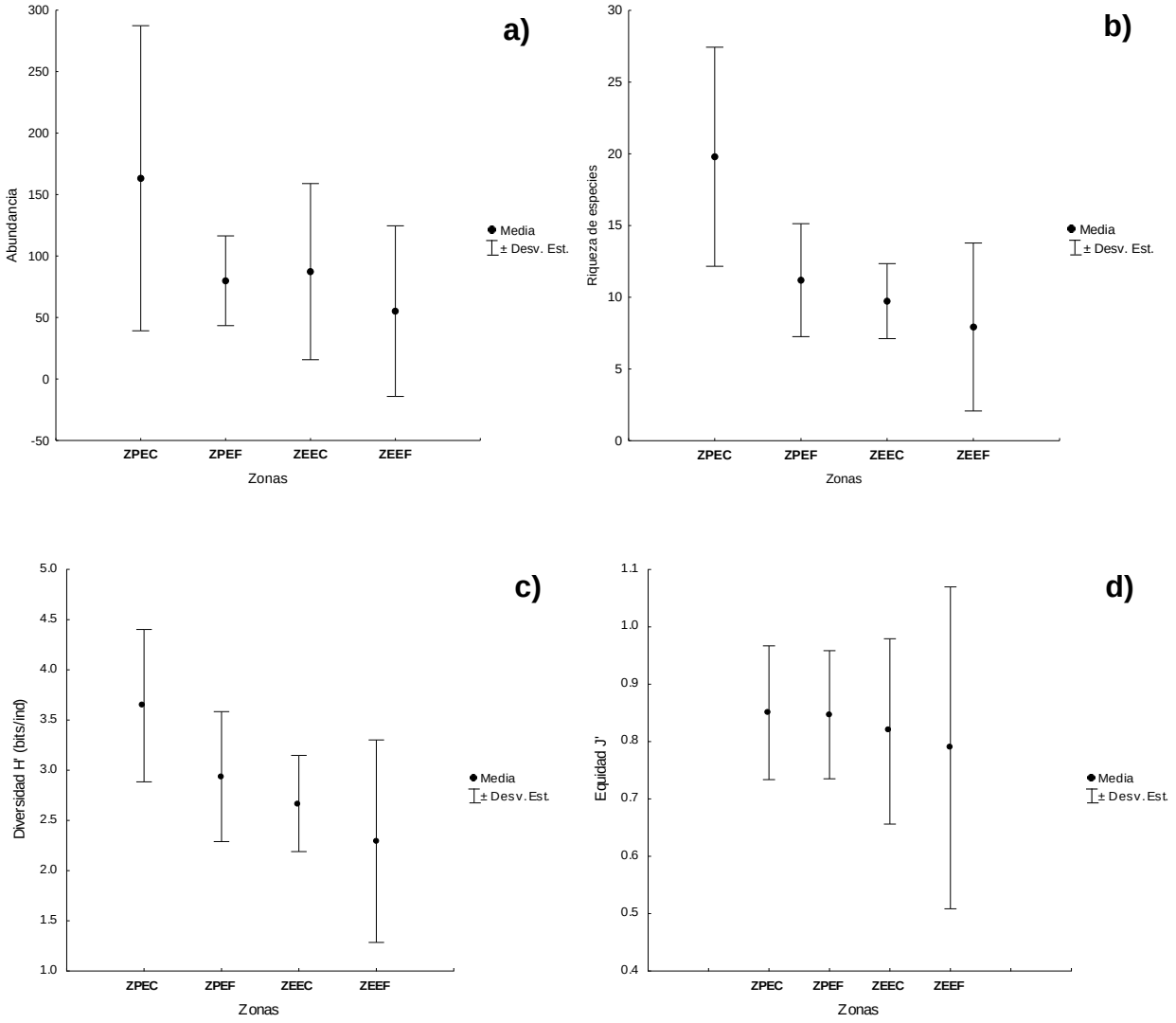

Figura 5. Índices ecológicos sobre el criterio de la abundancia numérica y su variación espacial y temporal, donde: a)= abundancia, b)= riqueza, c)= diversidad H' y d)= equidad J' de Isla San José, B.C.S., México.

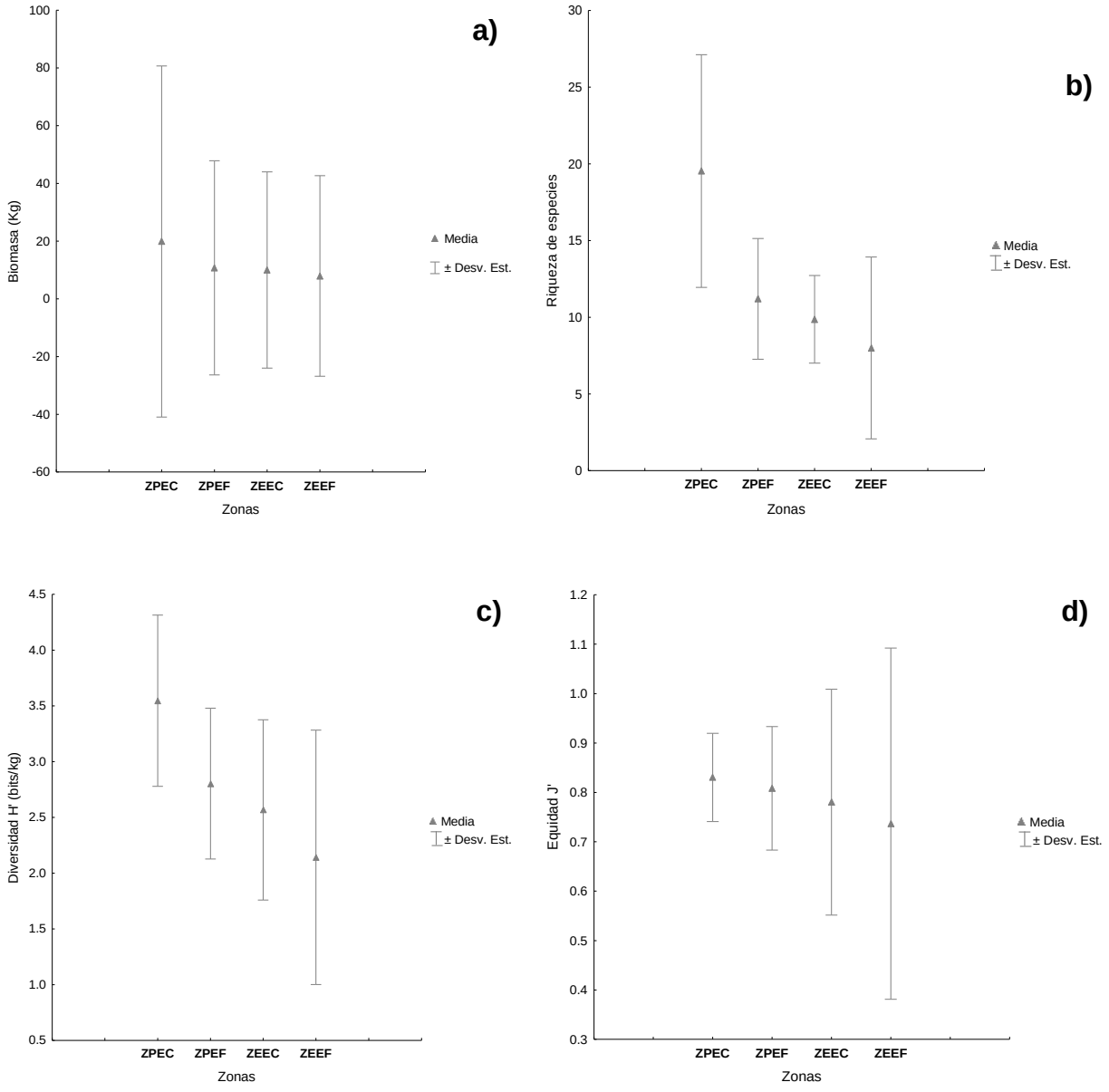

Figura 6. Índices ecológicos sobre el criterio de la biomasa (kg) y su variación espacial y -temporal, donde: a)= abundancia, b)= riqueza, c)= diversidad H' y d)= equidad J' de Isla San José, B.C.S., México.

Tabla 1. Índices ecológicos por zonas: ZPEC= zona protegida época cálida, ZPEF= zona protegida época fría, ZEEC=zona expuesta época cálida y ZPEF=zona expuesta época fría de Isla San José, B.C.S., México. La diversidad (*H'*) esta expresada en bits por individuo.

ATRIBUTOS	ZPEC	ZPEF	ZEEC	ZEEF
ABUNDANCIA	2400	1199	1307	829
RIQUEZA ESPECÍFICA (*S*)	59	40	48	36
DIVERSIDAD (*H'*)	3.6	2.9	2.7	2.3
EQUIDAD (*J'*)	0.85	0.8	0.81	0.78
BIOMASA	1252	678	630	500
RIQUEZA ESPECÍFICA (*S*)	59	38	49	36
DIVERSIDAD (*H'*)	3.5	2.8	2.5	2.1
EQUIDAD (*J'*)	0.83	0.81	0.78	0.74

7.2.4.1 DOMINANCIA COMUNITARIA

7.2.4.1.1 Índice del valor biológico de *Sanders* (IVB)

Sobre la base de la abundancia numérica de las especies, un grupo de 16 especies aportaron el 60% de la dominancia en los arrecifes rocosos de Isla San José, destacando por su contribución *M. inornatus* (7%), *M. dentatus* (6%), *H. scudderi* (6%), *C. caballus* (5%), *Nematistiius pectoralis* (4%) y *K. analogus* (4%) (Fig.7a).

Los resultados del IVB mostraron variaciones en la jerarquía de las especies entre zonas y épocas. Por ejemplo, en la ZPEC, 16 especies sumaron en conjunto 60% del puntajes del índice, destacando *M. inornatus* con el 7%, *H. scudderi* con el 6%, *M. dentatus* con el 5%, *H. maculicauda* con el 5%, *C. caballus* con 4% y *L. argentiventris* con el 4% (Fig. 7b).

Para la ZPEF 13 especies aportaron el 60% de la dominancia total, en donde las especies *M. inornatus* (9%), *C. caballus* (7%), *M. dentatus* (7%), *H. scudderi* (5%), *L. argentiventris* (5%), *M. cephalus* (4%), se constituyeron como las especies dominantes (Fig. 7c).

La ZEEC estuvo dominada por 14 especies, 60% del IVB en su conjunto, la importancia en términos porcentuales de cada una de ellas es la siguiente: *M. dentatus* (7%), *M. inornatus* (6%), *C. caballus* (6%), *N. pectoralis* (6%), *H. scudderi* (5%) *y K. analogus* (5%) fueron las de mayor importancia (Fig. 7d).

Finalmente para la ZEEF 11 especies sumaron el 60% de la dominancia de la comunidad sobre la base del índice del IVB, de las cuales *N. pectoralis* (9%), *H. scudderi* (8%), *M. inornatus* (8%), *M. dentatus* (7%), *C. caballus* (5%), *y A. thazard* (5%) fueron las más importantes (Fig. 7e).

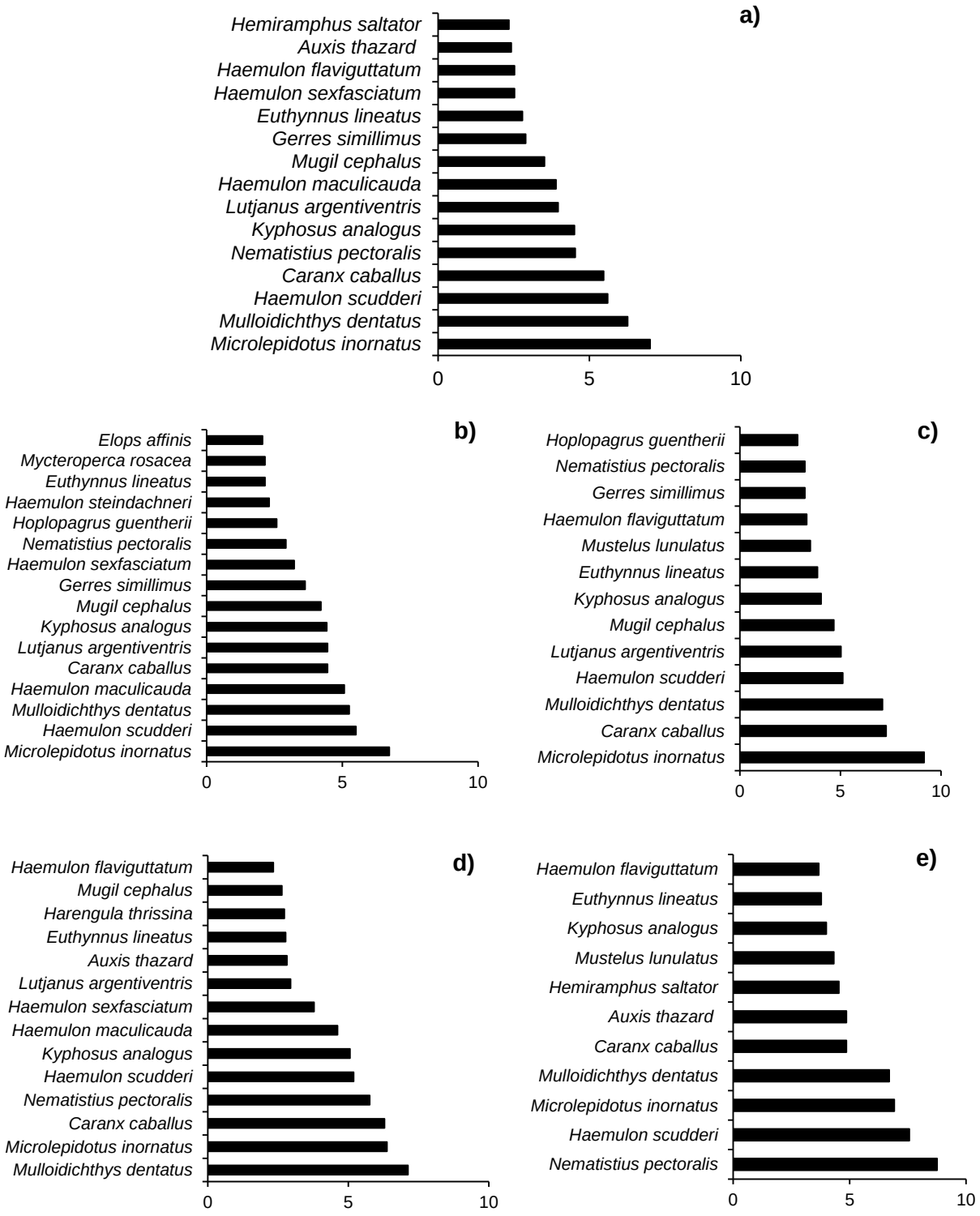

Figura 7. Dominancia comunitaria del IVB de *Sanders* de Isla San José y su variación espacio-temporal, donde: a) AGISJ =arreglo general, b) ZPEC=zona protegida época cálida, c) ZPEF=zona protegida época fría, d) ZEEC= zona expuesta época cálida y e) ZEEF= zona expuesta época fría.

7.2.4.2 DIVERSIDAD TAXONÓMICA

De acuerdo al índice de diversidad taxonómica se registraron los siguientes valores Δ^+ZEEC= 72, Δ^+ZPEC= 71.9, Δ^+ZPEF= 67.8 y Δ^+ZEEF= 67.4. Estos resultados demuestran una mayor diversidad taxonómica en la ZPEC. Por otro lado, los valores de lambda estimados para los diferentes escenarios fueron: Λ^+ZEEC= 260, Λ^+ZPEC= 235, Λ^+ZPEF= 216.1 y Λ^+ZEEF= 216.7. La representación bivariada de los índices descritos con anterioridad (Δ^+ vs Λ^+) muestra que las ZPEC y ZEEC presentaron mayor diversidad taxonómica en comparación de las ZPEF y ZEEF (Fig. 8).

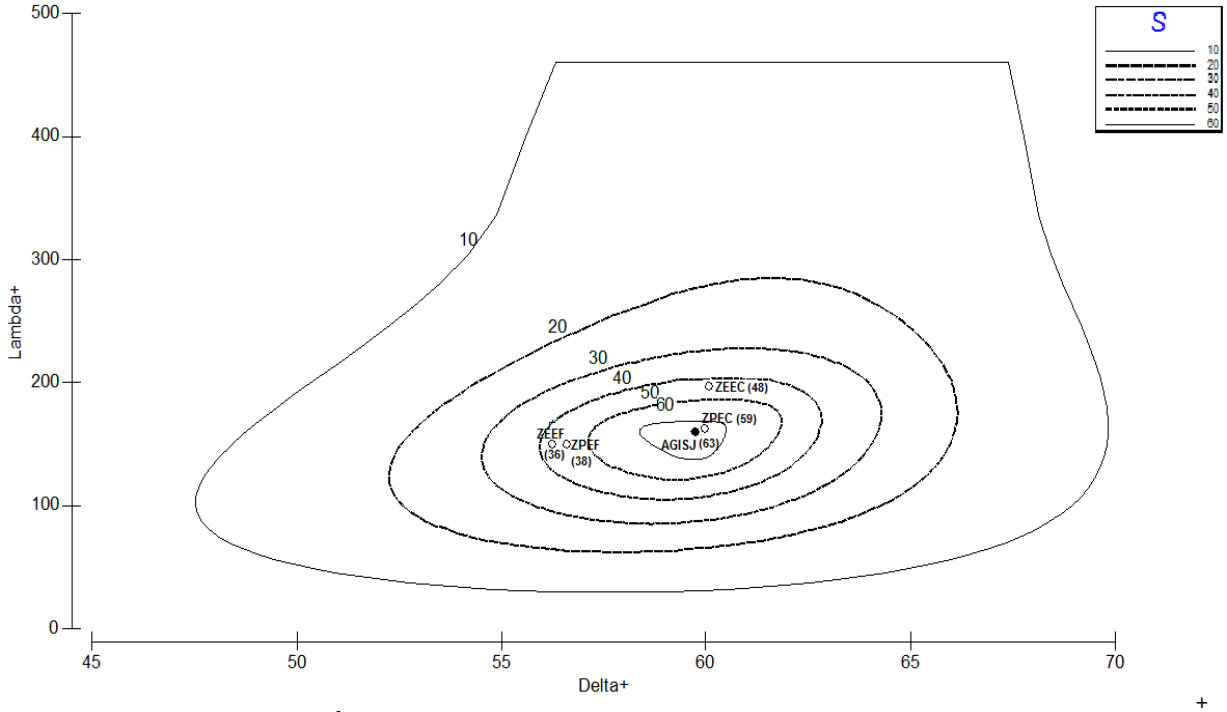

Figura 8. Representación bivariada del índice de distinción taxonómica promedio (Δ^+) contra la variación de la distinción taxonómica (Λ^+), donde: AGISJ = arreglo general, para ZPEC= zona protegida época cálida, ZPEF= zona protegida época fría, ZEEC= zona expuesta época cálida y ZEEF= zona expuesta época fría de Isla San José, B.C.S., México. Las isolíneas (elipses) representan la probabilidad al 95% de confianza, basado en 1000 simulaciones para un rango de 50, 60 y 70 especies.

7.2.5 PROPIEDADES TOPOLÓGICAS

7.2.5.1 PROPIEDADES GENERALES DE LA TRAMA TRÓFICA

La representación general de la red trófica de la zona marina rocosa contigua a Isla San José (AGISJ) incluyó 69 nodos que incluyen 34 familias de peces óseos, dos familias de peces cartilaginosos, 28 grupos de invertebrados, tres grupos de productores primarios, un grupo de detritus y un grupo que representa a los restos de peces. La red trófica representa un total de 221 interacciones alimentarias, la magnitud de la interacción no es considerada en el análisis.

Sobre la base del arreglo general, se analizaron cuatro escenarios en los cuales se consideran las variaciones espacio-temporales en la composición de la comunidad de peces: a) zona protegida-época cálida (ZPEC); b) zona protegida-época fría (ZPEF); c) zona expuesta-época cálida (ZEEC) y d) zona expuesta-época fría (ZEEF). El escenario ZPEC representa un total de 68 nodos (33 familias de peces óseos, dos familias de peces cartilaginosos, 28 grupos de invertebrados, tres grupos de productores primarios, un grupo de detritus y un grupo que incluyó a restos de peces) y 215 interacciones tróficas. El escenario ZPEF incluye 54 nodos (20 grupos de teleósteos, un grupo de peces cartilaginosos, 28 grupos de invertebrados, tres grupos de productores primarios y un grupo que incluye los restos de peces) con un total de 167 interacciones depredador-presa.

El escenario ZEEC está conformado por 63 nodos (28 grupos de teleósteos, dos grupos de condrictios, 28 grupos de invertebrados, tres grupos de productores primarios, un grupo de detritos y un grupo de restos de peces) que en conjunto representaron 198 interacciones alimentarias. Finalmente, el escenario ZEEF representa 53 nodos (20 grupos de peces, un grupo de peces cartilaginosos, 27 grupos de invertebrados, tres grupos de productores primarios, un grupo de detritos y un grupo de restos de peces) con un total de 161 interacciones tróficas.

7.2.6 PROPIEDADES TOPOLÓGICAS DE LA TRAMA TRÓFICA

7.2.6.1 ÍNDICE DE CONECTANCIA (*C*)

Para el arreglo general (AGISJ) se representaron solo 221 interacciones (*ITO*= interacciones tróficas observadas) de las 4624 posibles (*ITE*= interacciones tróficas esperadas, excluyendo el canibalismo), lo que resulto en un valor de conectancia igual a C_{AGISJ}= 0.047. Sobre la base del número de interacciones tróficas observadas para los escenarios de la zona protegida (ITO_{ZPEC}= 214 y ITO_{ZPEF}= 172) con respecto al número total posible (ITE_{ZPEC}= 4489 y ITE_{ZPEF}= 2809), la conectancia registró valores de C_{ZPEC}= 0.0477 y C_{ZPEF}= 0.0594 respectivamente. En el caso de la zona expuesta, sobre la base del número de interacciones tróficas observadas (ITO_{ZEEC}= 198, ITO_{ZEEF}= 161) con respecto a las teóricas (ITE_{ZEEC}= 3844, ITE_{ZEEF}= 2704), la conectancia estimada fue C_{ZEEC}= 0.0515 y para la zona expuesta época fría fue de C_{ZEEF}= 0.0595.

Los valores del índice de conectancia calculados para todos los escenarios (C_{ZPEC}= 0.0477, C_{ZPEF}= 0.0594, C_{ZEEC}= 0.0515 y C_{ZEEF}= 0.0595), se pueden interpretar propios de redes tróficas poco conectadas. En general, solo se representó el cinco por ciento de las conexiones tróficas posibles (Tabla 2).

Tabla 2. Valores de conectancia para la red general de Isla San José e incluye los cuatro escenarios donde: AGISJ= arreglo general, ZPEC= zona protegida época cálida, ZPEF= zona protegida época fría, ZEEC= zona expuesta época cálida y ZEEF= zona expuesta época fría de Isla San José, B.C.S., México.

Índice topológico	Clave	AGISJ	ZPEC	ZPEF	ZEEC	ZEEF
Número de interacciones	*L*	221	215	167	198	161
Número de nodos de la red	$(S-1)^2$	68	67	53	62	52
Valor de conectancia	*C*	0.047	0.0477	0.0594	0.0515	0.0595

7.2.6.2 PROPIEDADES LOCALES

7.2.6.2.1 ÍNDICE DEL GRADO DEL NODO (*D*)

Sobre la base del índice del grado del nodo (*D*) para el escenario AGISJ, la microfauna fue el nodo de mayor valor (D_{I2}= 22), seguidos de camarones peneidos (D_{I19}= 20), algas bentónicas (D_{A1}= 19), detritus (D_{D1}= 17) y cangrejos portúnidos (D_{I23}= 17). Los valores de grado del nodo más bajos fueron presentados por los nodos que representaron a las familias de teleósteos Kyphosidae (D_{F4}= 1), Belonidae (D_{F5}, = 1) y Carangidae 1 (D_{F19}= 1) (Fig. 9a).

Para el escenario ZPEC los nodos que registraron los valores más altos del índice de grado del nodo fueron la microfauna bentónica (D_{I2}= 22), seguidos de los camarones peneidos (D_{I19}= 21), algas bentónicas (D_{A1}= 19), y cangrejos portúnidos (D_{I23}= 18). Los valores de grado del nodo más bajos fueron observados en gusanos priapúlidos (D_{I7}= 1), moluscos escafópodos (D_{I11}, = 1), peces óseos de las familias Belonidae (D_{F3}= 1), Carangidae 1 (D_{F4}= 1) y Kyphosidae (D_{F18}= 1) (Fig. 9b). Los valores del grado más alto en el escenario ZPEF fueron los observados para los nodos microfauna bentónica (D_{I2}= 22), camarones peneidos (D_{I19}= 18), detritus (D_{D1}= 17) y algas bentónicas (D_{A1}= 16). Asimismo, los nodos que aportaron los valores más bajos fueron algas simbióticas (D_{A2}= 1), gusanos priapúlidos (D_{I7}= 1) y moluscos escafópodos (D_{I11}= 1) (Fig. 9c).

En el escenario ZEEC los nodos que registraron los valores más altos fueron la microfauna bentónica (D_{I2}= 22), seguido por algas bentónicas D_{A1}= 19), detritus D_{D1}= 17), y camarones peneidos (D_{I19}= 17); con menor importancia aparecen los nodos que representaron a los gusanos priapúlidos (D_{I7}= 1), moluscos escafópodos (D_{I11}= 1), teleósteos de las familias Belonidae (D_{F2}= 1) y Kyphosidae (D_{F15}= 1) (Fig. 9d). Por otro lado, en la ZEEF los nodos que contribuyeron con los valores del grado más altos fueron la microfauna bentónica (D_{I2}= 22), detritus (D_{D1}= 17), seguidos por algas bentónicas (D_{A1}= 16) y camarones peneidos (D_{I19}= 15). De igual manera, los nodos con menor relevancia fueron las algas simbióticas (D_{A2}= 1), poríferos (D_{I3}= 1),

gusanos priapúlidos (D_{I7}= 1), moluscos escafópodos (D_{I11}= 1) y peces óseos de la familia Belonidae (D_{F2}= 1) (Fig. 9e).

En todos los escenarios simulados (AGISJ, ZPEC, ZPEF, ZEEC y ZEEF) para la trama trófica de Isla San José, los valores estimados del índice del grado del nodo se ajustaron a una distribución de tipo potencial, es decir, pocos nodos presentaron elevados valores de interacción, mientras que la mayoría de los nodos estuvieron poco conectados (Fig. 10). No se encontraron diferencias significativas en la distribución de la frecuencia del índice del nodo en ninguno de los escenarios simulados (H=0.30, p=0.9584).

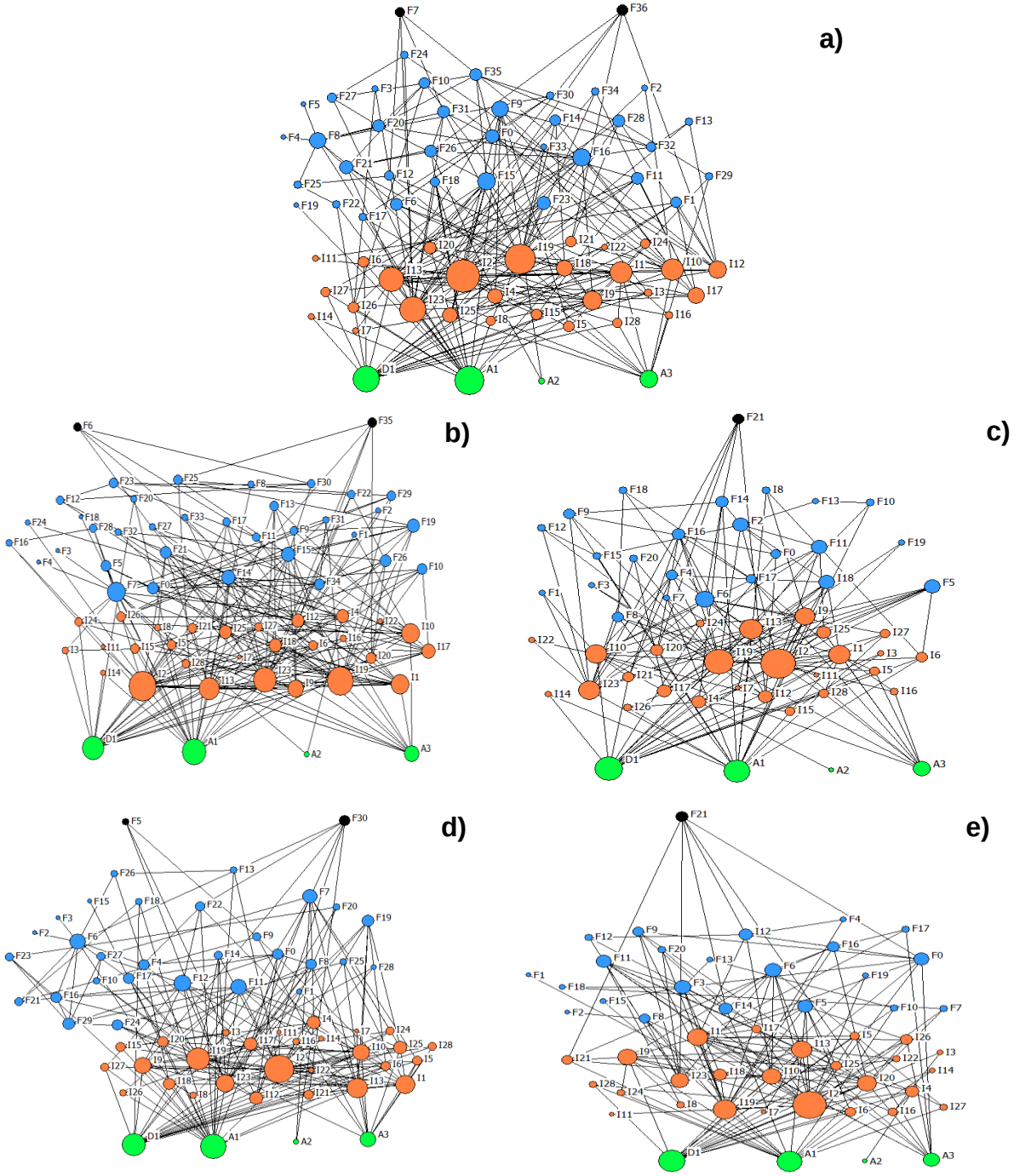

Figura 9. Representación de la red trófica de Isla San José, cada nodo representa un depredador o una presa, considerando 4 niveles tróficos, verde: productores primarios (algas y plancton), naranja: invertebrados y algunos crustáceos, azul: peces y negro: tiburones. El tamaño de los nodos es proporcional al índice del grado del nodo (*D*), donde: a) AGISJ =arreglo general de isla san José, b) ZPEC=zona protegida época cálida, c) ZPEF=zona protegida época fría, d) ZEEC= zona expuesta época cálida, e) ZEEF= zona expuesta época fría.

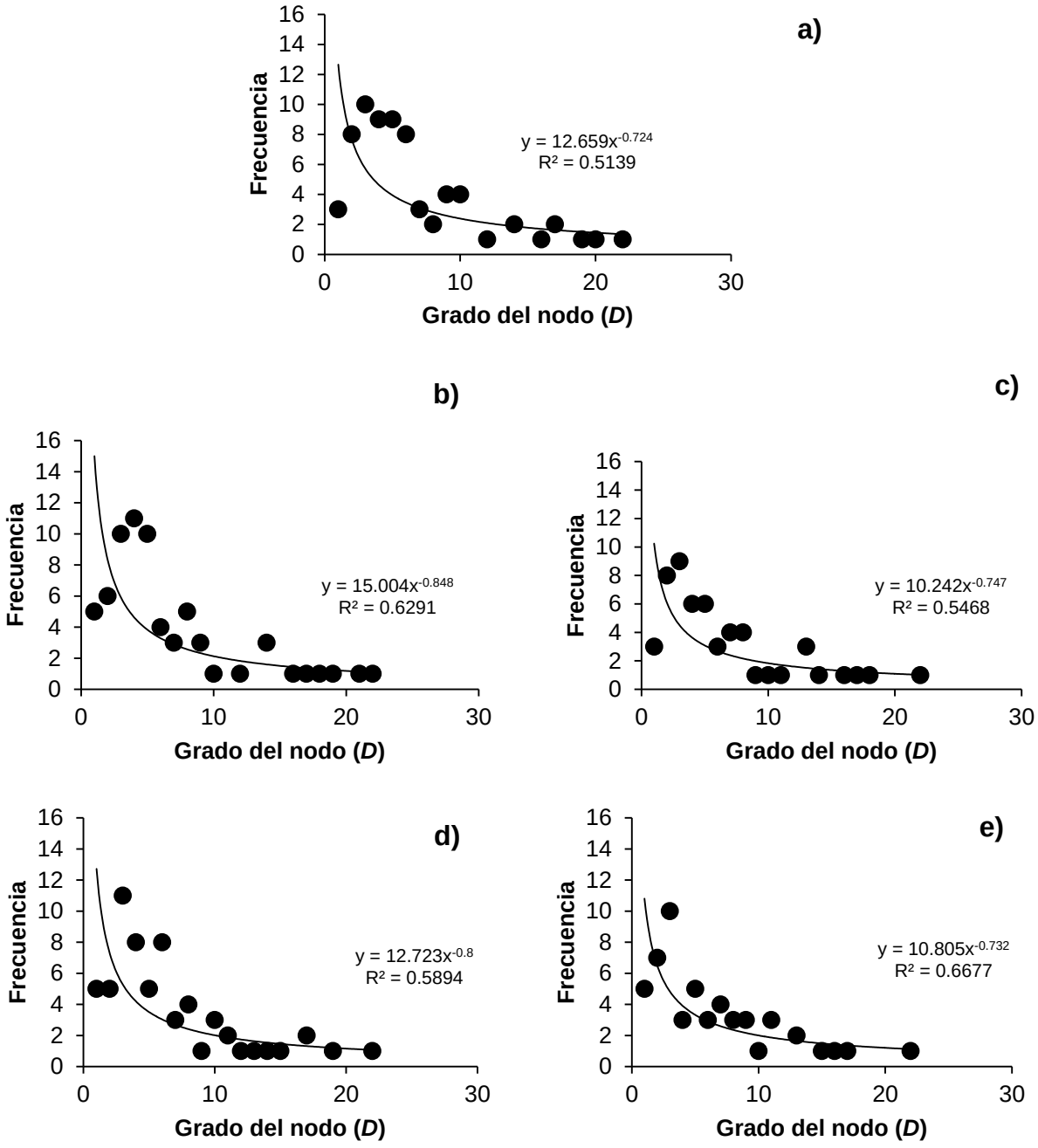

Figura 10.Distribución de frecuencias del grado del nodo de la red trófica por escenarios: a) AGISJ: arreglo general, b) ZPEC= zona protegida época cálida, c) ZPEF= zona protegida época fría, d) ZEEC= zona expuesta época cálida y e) ZEEF= zona expuesta época fría, mostrando la distribución potencial con la ecuación y coeficiente de determinación.

7.2.7 PROPIEDADES DE MESOESCALA

7.2.7.1 ÍNDICE DE INTERMEDIACIÓN (*BC*)

Los resultados para los índices de centralidad para el escenario AGISJ, mostraron que las algas simbióticas registraron el valor de intermediación más alto (BC_{A1}= 408), seguidos por microfauna (BC_{I2}= 299), camarones peneidos (BC_{I19}= 249) y cangrejos portúnidos (BC_{I23}= 246). Por otro lado, los peces de las familias Belonidae (BC_{F4}= 0), Carangidae 2 (BC_{F5}= 0), Kyphosidae (BC_{F19}= 0), Serranidae (BC_{F33}=0), gusanos priapúlidos (BC_{I7}= 0) y algas bentónicas (BC_{A2}=0) mostraron los valores de intermediación más bajos (Fig. 11a).

En el escenario ZPEC, los nodos que presentaron los valores mayores de intermediación fueron algas bentónicas (BC_{A1}= 382), microfauna bentónica (BC_{I2}= 284), cangrejos portúnidos (BC_{I23}= 282), seguidos de los camarones peneidos (BC_{I19}= 256). Por otro lado, los nodos que mostraron los valores menores fueron las algas simbióticas (BC_{A2}= 0), gusanos priapúlidos (BC_{I7}= 0), moluscos escafópodos (BC_{I11}= 0) y peces de las familias Belonidae (BC_{F3}= 0), Carangidae 1 (BC_{F4}= 0) y Kyphosidae (BC_{F18}= 0) (Fig. 11b). En la zona protegida (ZPEF), los grupos que representan a la microfauna bentónica (BC_{I2}= 256), detritus (BC_{D1}= 174), camarones peneidos (BC_{I19}= 173) y algas bentónicas (BC_{A1}= 169) fueron los que contribuyeron con los valores más altos del índice de intermediación. Con menor importancia se presentaron los cangrejos anomuros (BC_{I22}= 0), peces de las familias Ariidae (BC_{F2}= 0), Serranidae 2 (BC_{F19}= 0), algas simbióticas (BC_{A2}= 0), gusanos priapúlidos (BC_{I7}= 0) y moluscos escafópodos (BC_{I11}= 0) (Fig. 11c).

Para el escenario ZEEC los grupos con mayor relevancia acorde al índice de intermediación fueron las algas bentónicas (BC_{A1}= 350), microfauna bentónica (BC_{I2}= 290), teleósteos de la familia Clupeidae (BC_{F6}= 184) y camarones peneidos (BC_{I19}= 163). Valores con menor importancia fueron observados en los peces óseos de las familias Ariidae (BC_{F1}= 0), Belonidae (BC_{F2}= 0), Carangidae 1 (BC_{F3}= 0), seguidos por algas simbióticas (BC_{A2}= 0), gusanos priapúlidos (BC_{I7}= 0) y cangrejos anomuros (BC_{I22}= 0) (Fig. 11d).

En lo referente al escenario ZEEF los grupos que mostraron los valores más altos fueron la microfauna bentónica (BC_{I2}= 271), algas bentónicas (BC_{A1}= 188),

detritus (BC_{D1}= 165) y camarones peneidos (BC_{I19}= 157). Los nodos que representan a los teleósteos de las familias Ariidae (BC_{F1}= 0), Belonidae (BC_{F2}= 0), Serranidae 2 (BC_{F19}= 0), las algas simbióticas (BC_{A2}= 0) y diversos grupos de invertebrados (p. e. poríferos BC_{I3}= 0, gusanos priapúlidos BC_{I7}= 0, moluscos escafópodos BC_{I11}= 0, cangrejos anomuros BC_{I22}= 0) fueron los de menor relevancia (Fig. 11e).

En todos los escenarios (AGISJ, ZPEC, ZPEF, ZEEC y ZEEF), la propagación de efectos dentro de la red se lleva en mayor medida en los grupos basales (algas bentónicas, microfauna bentónica y detritus) e invertebrados (cangrejos y camarones) (Fig. 12). No se encontraron diferencias significativas en la distribución de la frecuencia del índice de intermediación en ninguno de los escenarios simulados (H=1.37, p=0.7117).

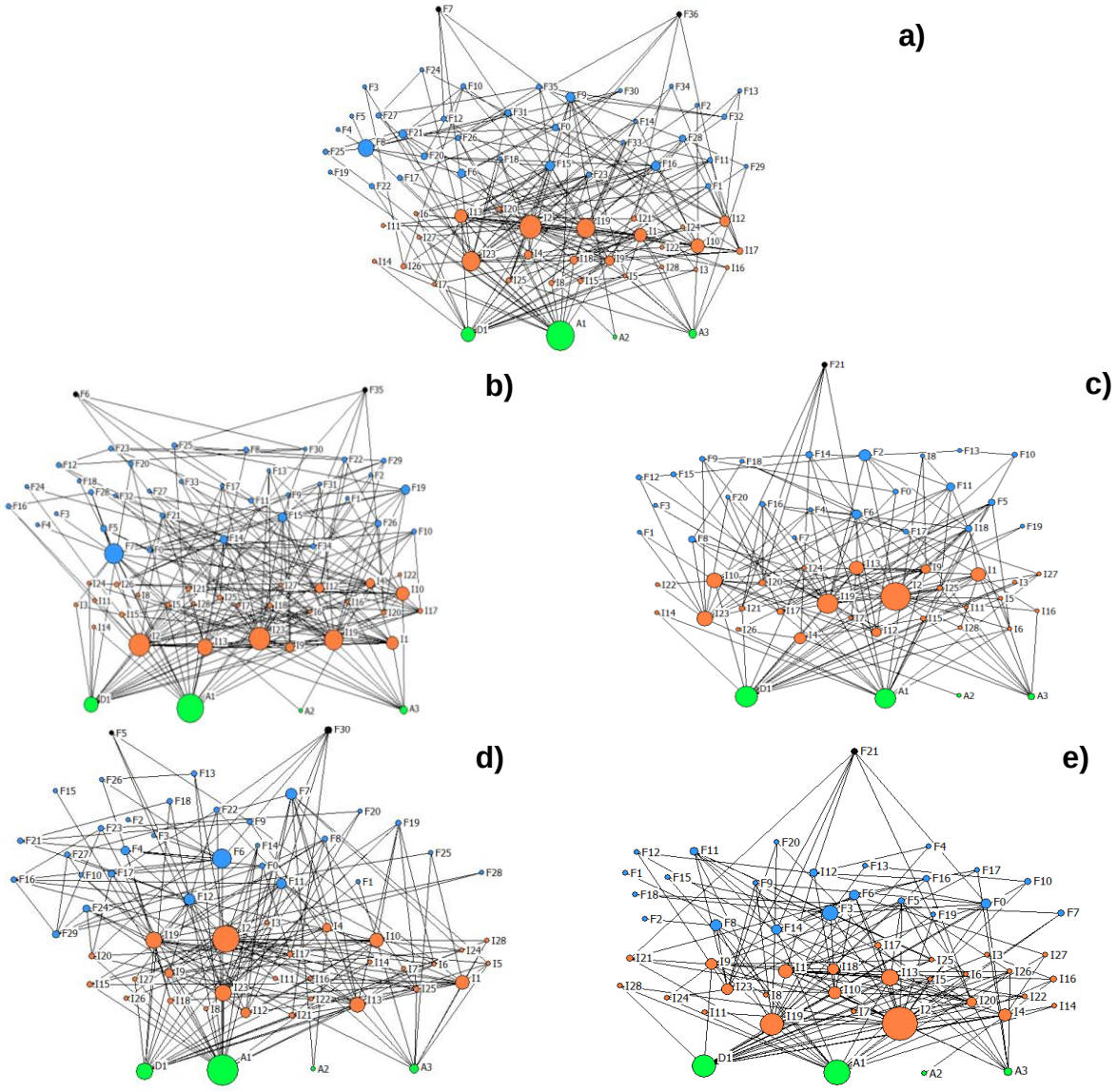

Figura 11.Representación de la red trófica de Isla San José, cada nodo representa un depredador o una presa, considerando 4 niveles, verde: productores primarios (algas y plancton), naranja: invertebrados y algunos crustáceos, azul: peces y negro: tiburones. El tamaño de los nodos es proporcional al índice de Intermediación (*BC*), donde: a) AGISJ =arreglo general de isla san José, b) ZPEC=zona protegida época cálida, c) ZPEF=zona protegida época fría, d) ZEEC= zona expuesta época cálida, e) ZEEF= zona expuesta época fría.

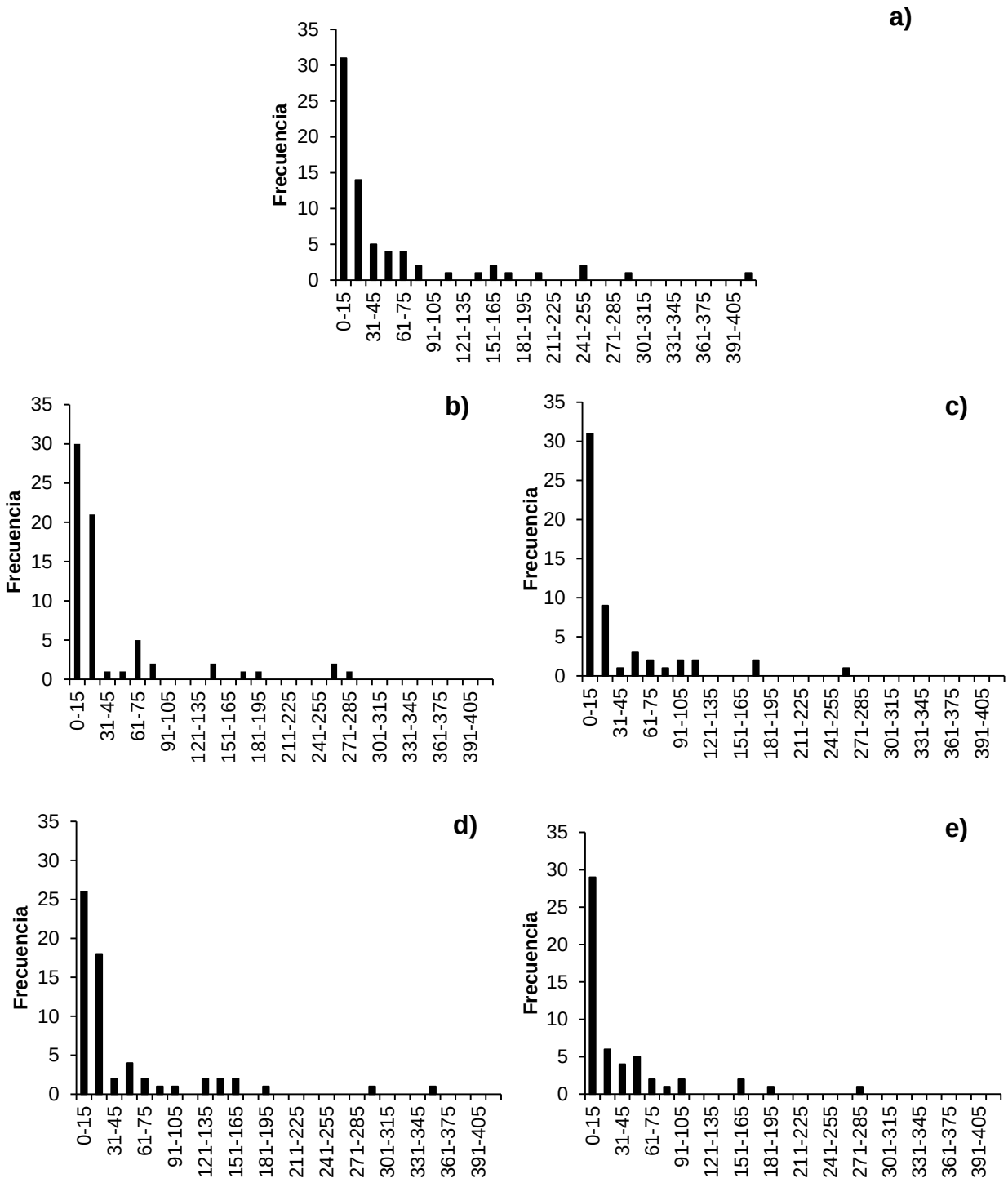

Figura 12.Distribución de frecuencias de índice de mesoescala (Intermediación) para la red trófica en los cuatro escenarios: a) AGISJ: arreglo general, b) ZPEC= zona protegida época cálida, c) ZPEF= zona protegida época fría, d) ZEEC= zona expuesta época cálida y e) ZEEF= zona expuesta época fría.

7.2.7.2 ÍNDICE DE CERCANÍA (*CC*)

En cuanto al índice de cercanía (*CC*), la microfauna bentónica (CC_{I2} = 123), las algas bentónicas (CC_{A1}= 126), camarones peneidos (CC_{I19}= 128), camarones peneidos (CC_{I19}= 135) y gusanos poliquetos (CC_{I13}= 129) registraron los valores más representativos (Fig. 13a). Los grupos menos relevantes de acuerdo a este índice fueron las algas simbióticas (CC_{A2}= 200) y los peces de las familias Nematistiidae (CC_{F25}= 204), Belonidae (CC_{F4}= 227), Carangidae 1 (CC_{F5}= 227). En la ZPEC los grupos que mostraron los valores más relevantes de acuerdo al índice de cercanía fueron la microfauna bentónica (CC_{I2}= 121), seguido de los gusanos poliquetos (CC_{I13}= 124), las algas bentónicas (CC_{A1}= 125) y los camarones peneidos (CC_{I19}= 125). Los valores menos importantes fueron representados por peces de las familias Kyphosidae (CC_{F18}= 198), Balistidae (CC_{F2} = 192), Belonidae (CC_{F3}= 204) y Carangidae 1 (CC_{F4}= 204) (Fig. 13b).

En el escenario ZPEF, la microfauna bentónica (CC_{I2}= 86), detritus (CC_{D1} = 94), camarones peneidos (CC_{I19}= 94) y gusanos poliquetos (CC_{I13}= 97) fueron los nodos que obtuvieron los valores más importantes. Peces de la familia Scombridae 3 (CC_{F18}= 145), gusanos priapúlidos (CC_{I7}= 149), peces de la familia Nematistiidae (CC_{F13}= 152) y algas simbióticas (CC_{A2}= 167) fueron son los nodos que presentan menor relevancia respecto a este índice. (Fig. 13c).

Para el escenario ZEEC, los grupos que registraron los valores más altos fueron la microfauna bentónica (CC_{I2}= 109), seguido de las algas bentónicas (CC_{A1}= 114), gusanos poliquetos (CC_{I13}= 116) y camarones peneidos (CC_{I19}= 118). Así mismo, peces de la familia Scombridae (CC_{F26}= 177), algas simbióticas (CC_{A2}= 180), peces de las familias Belonidae (CC_{F2}= 198) y Carangidae 1 (CC_{F3}= 198) fueron los grupos menos relevantes. (Fig. 13d).

El escenario ZEEF presentó a la microfauna bentónica (CC_{I2}= 84), a los camarones peneidos (CC_{I19}= 92), al detritus (CC_{D1}= 93) y a las algas bentónicas (CC_{A1}= 97) como los nodos con mayor importancia. Peces de las familias Scombridae 3 (CC_{F18}= 149), Belonidae (CC_{F2}= 161), algas simbióticas (CC_{A2}= 163) y

peces de la familia Ariidae (CC_{F1}= 165) fueron los grupos menos relevantes de acuerdo a este índice (Fig. 13e).

Sobre la base de los resultados obtenidos en cada uno de los escenarios analizados (AGISJ, ZPEC, ZPEF, ZEEC y ZEEF), se observa que los grupos con mayor participación en la dispersión de efectos directos (valores de cercanía más pequeños) son en su mayoría nodos que representan diversos grupos de invertebrados (gusanos priapúlidos, gusanos poliquetos, moluscos gasterópodos y moluscos bivalvos), productores primarios (algas bentónicas, microfauna), así como el detritus (Fig. 14), asimismo, no se encontraron diferencias significativas en la distribución de la frecuencia del índice de cercanía en ninguno de los escenarios simulados (H=0.14, p=0.7015).

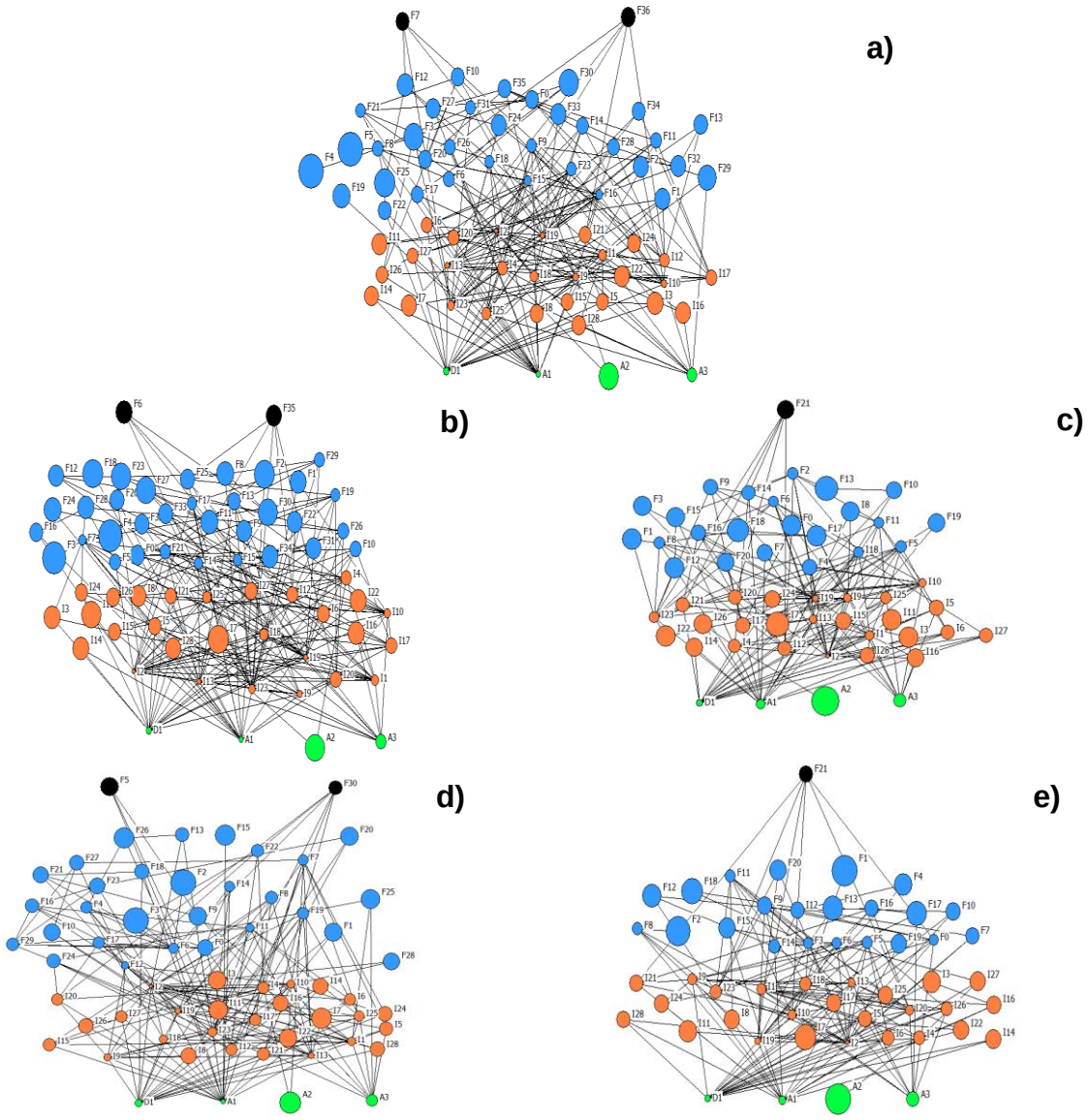

Figura 13.Representación de la red trófica de Isla San José, cada nodo representa un depredador o una presa, considerando 4 niveles tróficos, verde: productores primarios (algas y plancton), naranja: invertebrados y algunos crustáceos, azul: peces y negro: tiburones. El tamaño de los nodos es proporcional al índice de Cercanía (*CC*), donde: a) AGISJ =arreglo general de isla san José, b) ZPEC=zona protegida época cálida, c) ZPEF=zona protegida época fría, d) ZEEC= zona expuesta época cálida, e) ZEEF= zona expuesta época fría.

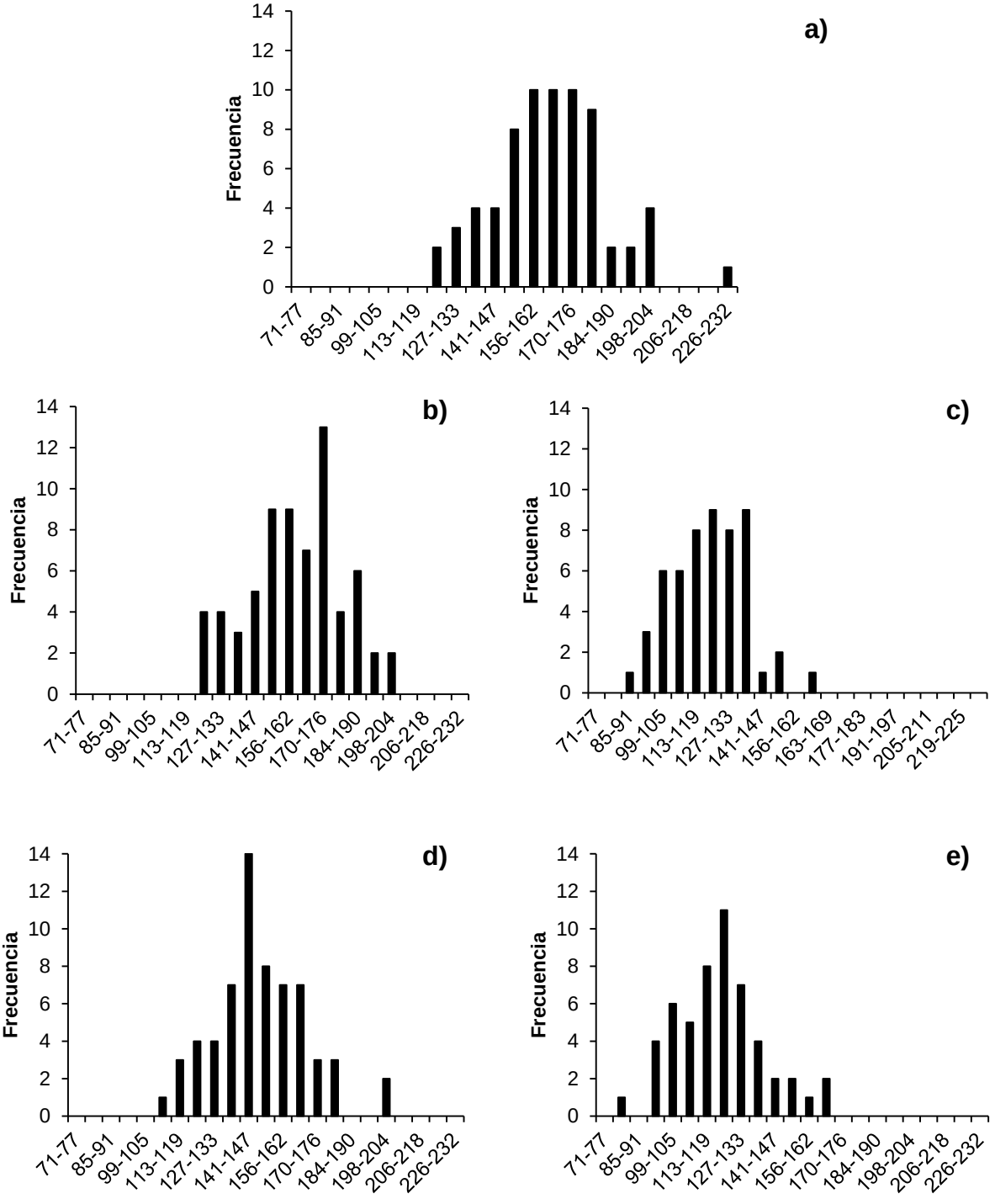

Figura 14. Distribución de frecuencias de índice de mesoescala (Cercanía) para la red trófica en los cuatro escenarios: a)AGISJ= arreglo general, b)ZPEC= zona protegida época cálida, c)ZPEF= zona protegida época fría, d) ZEEC= zona expuesta época cálida y e)ZEEF= zona expuesta época fría.

7.2.8 CONTROL ECOSISTÉMICO: ÍNDICE DE IMPORTANCIA POSICIONAL (*IK*)

Los resultados del índice de importancia topológica (*IK*) para la trama trófica en el arreglo general (AGISJ) de Isla San José, mostró que los nodos detritus, peces de la familia Sphyraenidae, algas bentónicas, microfauna bentónica, y fitoplancton fueron los más relevantes (IK_{D1}= 30.86, IK_{F35}= 20.89, IK_{A1}= 18.66, IK_{I2}= 17.38 y IK_{A3}= 11.71 respectivamente) (Tabla 3). Los peces de las familias Kyphosidae (IK_{F19}= 0.05), gusanos equiúridos (IK_{I14}= 0.11) y gusanos priapúlidos (IK_{I7}= 0.12) fueron los nodos de menor importancia topológica en el arreglo general (Tabla 3).

En el escenario ZPEC el detritus, tiburones de la familia Carcharhinidae, microfauna bentónica, tiburones de la familia Triakidae y fitoplancton fueron los nodos posicionados en los primeros cinco lugares (IK_{D1}= 36.77, IK_{F6}= 36.39, IK_{I2}= 20.9, IK_{F35}= 18.13 y IK_{A3}= 11.90 respectivamente). Peces de la familia Kyphosidae (IK_{F18}= 0.07), gusanos equiúridos (IK_{I14}= 0.17) y gusanos priapúlidos (IK_{I7}= 0.12) fueron los grupos con poca relevancia (Tabla 4). En la ZPEF los grupos tróficos detritus (IK_{D1}= 29.20), Triakidae (IK_{F21}= 21.48), microfauna (IK_{I2}= 15.79), fitoplancton (IK_{A3}= 8.74) y Haemulidae 1 (IK_{F5}= 7.64) fueron los nodos más importantes de acuerdo a este índice. Gusanos equiúridos, priapúlidos y peces de la familia Serranidae 2 fueron los nodos con menor importancia topológica (IK_{I14}= 0.19, IK_{I7}= 0.28, IK_{F19}= 0.26) (Tabla 5).

De acuerdo al escenario ZEEC el detritus (IK_{D1}= 34.45), tiburones de las familias Carcharhinidae (IK_{F5}= 32.69), Triakidae (IK_{F30}= 27.54), microfauna bentónica (IK_{I2}= 19.82) y peces de la familia Sphyraenidae (IK_{29}= 12.06) fueron los nodos con mayor importancia topológica. Peces de la familia Kyphosidae, gusanos equiúridos y priapúlidos fueron los menos importantes de acuerdo al índice (IK_{F15}= 0.08, IK_{I14}= 0.19, IK_{I7}= 0.23) (Tabla 6). En la ZEEF los nodos detritus (IK_{D1}= 30.01), Triakidae (IK_{F21}= 23.45), microfauna bentónica (IK_{I2}= 16.70), Scombridae 3 (IK_{F18}= 15.99) y Haemulidae 1 (IK_{F5}= 10.59) fueron los más relevantes. Gusanos equiúridos, priapúlidos y peces de la familia Hemiramphidae fueron los grupos tróficos con menor importancia topológica (IK_{I14}= 0.18, IK_{I7}= 0.28, IK_{F7}= 0.29) (Tabla 7).

Lo anterior demuestra una participación significativa tanto de grupos posicionados en niveles tróficos inferiores y altos en la estructura de la red trófica, asimismo, el tipo de control ecosistémico es de abajo hacia arriba (*bottom-up*). Este arreglo presenta pequeñas variaciones en el orden de la posición topológica de algunos nodos en los escenarios simulados; sin embargo, su estructura se mantiene en lo general, sugiriendo así que la remoción de los nodos con mayor importancia topológica podría ocasionar altas extinciones secundarias, además la participación en la dispersión de efectos indirectos es mucho mayor que los efectos directos causados por depredación.

Tabla 3. Índice de importancia topológica de la red trófica general (AGISJ) de Isla San José, los grupos de familias están organizados de mayor a menor basados en su importancia (*IK)*. K_{bu}= importancia de abajo-arriba (*bottom-up)*, K_{td}= importancia de arriba-abajo (*top-down)*, K_{dir}= importancia de efectos directos, K_{ind}= importancia de efectos indirectos.

Grupo funcional	Clave	*Kbu*	*Ktd*	*Kdir*	*Kindir*	*IK*
Detritus	D1	30.86	0.00	6.46	24.40	30.86
Sphyraenidae	F35	0.00	20.90	4.98	15.92	20.90
Algas bentónicas	A1	18.67	0.00	9.06	9.61	18.67
Microfauna	I2	17.33	0.06	6.68	10.71	17.39
Fitoplancton	A3	11.71	0.00	3.26	8.45	11.71
Bivalvia	I10	8.92	0.21	3.86	5.27	9.13
*Serranidae 1	F32	0.14	7.35	1.64	5.85	7.49
Zooplancton	I1	6.83	0.15	3.57	3.40	6.97
Chanidae	F9	0.57	4.66	4.14	1.09	5.23
*Lutjanidae 1	F20	0.14	4.54	2.10	2.58	4.68
Polychaeta	I13	4.20	0.36	2.96	1.59	4.56
Carcharinidae	F7	0.00	4.38	1.80	2.58	4.38
Anomura	I22	4.11	0.11	3.10	1.12	4.22
Penaeidae	I19	3.13	1.00	3.52	0.61	4.13
Gastropoda	I9	3.49	0.63	2.47	1.66	4.13
Clupeidae	F8	3.64	0.05	3.57	0.12	3.70
Elopidae	F11	0.00	3.38	1.79	1.59	3.38
Portunidae	I23	2.83	0.36	2.94	0.26	3.19

Continuación Tabla 3

Grupo funcional	Clave	*Kbu*	*Ktd*	*Kdir*	*Kindir*	*IK*
*Haemulidae 2	F16	0.80	2.38	2.54	0.64	3.18
*Scombridae 3	F30	0.00	2.97	2.13	0.85	2.97
*Scombridae 1	F28	0.14	2.71	2.23	0.62	2.85
Cnidaria	I4	2.07	0.70	2.06	0.71	2.77
*Haemulidae 1	F15	0.37	2.39	2.09	0.67	2.76
Scorpaenidae	F31	0.20	2.38	1.94	0.64	2.58
Albulidae	F1	0.00	2.56	2.03	0.53	2.56
Cephalopoda	I12	1.63	0.40	1.88	0.15	2.03
*Lutjanidae 2	F21	0.00	1.95	1.49	0.46	1.95
Triakidae	F36	0.00	1.88	1.39	0.50	1.88
Restos de peces	F0	1.79	0.00	1.19	0.60	1.79
Amphipoda	I18	1.49	0.26	1.12	0.63	1.74
Mullidae	F23	0.00	1.71	1.45	0.26	1.71
Stomatopoda	I17	0.59	1.03	1.34	0.28	1.62
Ophiuroidea	I25	1.06	0.30	0.79	0.57	1.37
Polyplacophora	I8	1.22	0.05	0.58	0.70	1.28
Pycnogonida	I15	0.14	1.10	1.03	0.22	1.25
Pomacentridae	F26	0.68	0.48	0.87	0.29	1.16
*Carangidae 2	F6	0.33	0.74	0.93	0.14	1.07
*Serranidae 3	F34	0.00	1.01	0.55	0.46	1.01
Echinoidea	I26	0.49	0.48	0.75	0.22	0.96
Algas simbióticas	A2	0.96	0.00	0.38	0.59	0.96
Palinuridae	I20	0.54	0.40	0.80	0.14	0.93
Balistidae	F3	0.00	0.91	0.64	0.27	0.91
Exocoetidae	F12	0.70	0.20	0.88	0.01	0.90
Gerreidae	F14	0.00	0.82	0.60	0.22	0.82
Muraenidae	F24	0.00	0.75	0.64	0.12	0.75
Nematistiidae	F25	0.00	0.73	0.63	0.10	0.73
Diodontidae	F10	0.37	0.34	0.58	0.14	0.71
Scyllaridae	I21	0.40	0.29	0.61	0.08	0.69
Scaridae	F27	0.62	0.05	0.65	0.03	0.67
Asteroidea	I24	0.20	0.40	0.42	0.18	0.60
Fistularidae	F13	0.17	0.40	0.39	0.18	0.57
Porifera	I3	0.48	0.06	0.43	0.11	0.54
Bryozoa	I5	0.20	0.30	0.41	0.09	0.50
Holocentridae	F18	0.00	0.44	0.32	0.12	0.44

Continuación Tabla 3

Grupo funcional	Clave	*Kbu*	*Ktd*	*Kdir*	*Kindir*	*IK*
Sipuncula	I6	0.28	0.16	0.39	0.04	0.44
Hemiramphidae	F17	0.33	0.10	0.43	0.00	0.43
*Scombridae 2	F29	0.23	0.20	0.38	0.04	0.42
Holothuroidea	I27	0.20	0.16	0.27	0.09	0.36
Urochordata	I28	0.00	0.30	0.29	0.02	0.30
Ariidae	F2	0.00	0.28	0.23	0.05	0.28
Mugilidae	F22	0.14	0.11	0.25	0.00	0.25
Scaphopoda	I11	0.20	0.05	0.25	0.00	0.25
Balanidae	I16	0.00	0.24	0.23	0.02	0.24
*Serranidae 2	F33	0.00	0.22	0.13	0.09	0.22
Belonidae	F4	0.00	0.13	0.13	0.01	0.13
*Carangidae 1	F5	0.00	0.13	0.13	0.01	0.13
Priapula	I7	0.00	0.12	0.09	0.03	0.12
Echiura	I14	0.00	0.11	0.11	0.00	0.11
Kyphosidae	F19	0.00	0.05	0.05	0.00	0.05

Las familias marcadas con ***** corresponden a las siguientes especies: **Carangidae 1** =*Selene brevoortii* ;**Carangidae 2**= *Caranx caballus, C. caninus, C. sexfasciatus, Decapterus macarellus* y *Trachinotus rhodopus*. **Haemulidae 1**= *Haemulon flaviguttatum, H. maculicauda, H. scudderii, H. sexfasciatum, H. steindachneri.* **Haemulidae 2**= *Anisotremus interruptus, Microlepidotus inornatus, Pomadasys panamensis* y *Orthopristis cantharinus.* **Lutjanidae 1**= *Lutjanus guttatus*, **Lutjanidae 2**= *Lutjanus aratus, L. argentiventris, L. novemfasciatus* y *Hoplopagrus guentherii.* **Scombridae 1**= *Euthynnus lineatus*, **Scombridae 2**= *Auxis rochei, A. thazard, Scomber japonicus*, **Scombridae 3**= *Scomberomorus sierra.* **Serranidae 1**= *Mycteroperca rosacea,***Serranidae 2=** *Paranthias colonus*, **Serranidae 3**= *Paralabrax clathratus, Alphestes immaculatus* y *A. multiguttatus.* Este criterio de utilizó en todas las tablas.

Tabla 4. Índice de importancia topológica de la red trófica de la zona protegida época cálida (ZPEC) de Isla San José, los grupos de familias están organizados de mayor a menor basados en su importancia (*IK)*. K_{bu}= importancia de abajo-arriba (*bottom-up)*, K_{td}= importancia de arriba-abajo (*top-down)*, K_{dir}= importancia de efectos directos, K_{ind}= importancia de efectos indirectos.

Grupo funcional	Clave	*Kbu*	*Ktd*	*Kdir*	*Kindir*	*IK*
Detritus	D1	36.78	0.00	6.01	30.77	36.78
Carcharhinidae	F6	0.00	36.39	13.57	22.83	36.39
Microfauna	I2	20.88	0.05	8.08	12.85	20.94
Triakidae	F35	0.00	18.14	7.69	10.44	18.14
Fitoplancton	A3	11.90	0.00	3.05	8.86	11.90
Sphyraenidae	F34	0.00	10.47	3.80	6.67	10.47
Algas bentónicas	A1	9.62	0.00	5.51	4.11	9.62
Zooplancton	I1	8.35	0.12	3.30	5.17	8.47
*Haemulidae 1	F14	0.14	6.34	4.75	1.73	6.48
Polychaeta	I13	4.63	1.46	3.99	2.11	6.10
*Carangidae 2	F5	0.20	5.07	2.62	2.66	5.28
Gastropoda	I9	3.66	1.58	3.32	1.92	5.24
*Scombridae 3	F28	0.03	4.86	1.25	3.63	4.89
Bivalvia	I10	4.67	0.17	2.49	2.36	4.84
Penaeidae	I19	3.82	0.90	3.68	1.05	4.73
Portunidae	I23	2.92	1.79	3.82	0.89	4.71
Cephalopoda	I12	2.52	2.08	3.38	1.22	4.60
Cnidaria	I4	3.73	0.35	2.05	2.04	4.09
*Haemulidae 2	F15	0.79	2.91	2.43	1.27	3.70
Chanidae	F7	2.10	1.56	2.77	0.89	3.66
Balistidae	F2	0.07	3.43	2.14	1.36	3.50
Amphipoda	I18	3.01	0.20	1.56	1.65	3.21
*Scombridae 1	F26	0.61	2.60	1.89	1.32	3.21
*Lutjanidae 2	F19	0.14	2.92	1.88	1.19	3.06
Porifera	I3	2.99	0.05	1.33	1.72	3.04
Stomatopoda	I17	1.18	1.53	1.79	0.92	2.71
Ophiuroidea	I25	2.38	0.24	1.14	1.49	2.62
Asteroidea	I24	0.93	1.60	1.66	0.88	2.53
Restos de peces	F0	2.44	0.00	1.52	0.92	2.44
Algas simbióticas	A2	2.25	0.00	0.85	1.41	2.25
Mullidae	F21	0.07	2.14	1.31	0.89	2.21
Polyplacophora	I8	1.31	0.90	1.48	0.73	2.21
Elopidae	F10	0.07	2.04	1.40	0.71	2.11

Continuación Tabla 4.

Grupo funcional	Clave	*Kbu*	*Ktd*	*Kdir*	*Kindir*	*IK*
*Serranidae 1	F30	0.07	1.86	0.98	0.94	1.93
Anomura	I22	1.59	0.30	1.08	0.82	1.89
Echinoidea	I26	0.54	1.26	1.21	0.59	1.80
*Serranidae 3	F32	0.03	1.70	0.85	0.88	1.74
Clupeidae	F8	1.20	0.34	1.10	0.44	1.54
Bryozoa	I5	1.25	0.24	0.64	0.85	1.49
Nematistiidae	F23	0.29	1.16	1.28	0.17	1.45
Urochordata	I28	1.11	0.24	0.59	0.76	1.35
Balanidae	I16	1.07	0.18	0.53	0.72	1.25
Scaridae	F25	0.77	0.46	1.11	0.13	1.23
Muraenidae	F22	0.13	1.08	0.43	0.77	1.21
Diodontidae	F9	0.22	0.94	0.68	0.48	1.16
Scorpaenidae	F29	0.03	1.10	0.60	0.53	1.13
Holocentridae	F17	0.07	0.91	0.55	0.43	0.97
Pomacentridae	F24	0.09	0.84	0.62	0.32	0.94
Scyllaridae	I21	0.63	0.27	0.68	0.23	0.91
Holothuroidea	I27	0.74	0.13	0.55	0.32	0.87
*Scombridae 2	F27	0.14	0.72	0.61	0.26	0.86
Exocoetidae	F11	0.69	0.15	0.65	0.19	0.85
Scaphopoda	I11	0.81	0.03	0.40	0.44	0.84
Gerreidae	F13	0.07	0.68	0.42	0.33	0.75
Fistularidae	F12	0.39	0.31	0.49	0.22	0.70
Sipuncula	I6	0.54	0.13	0.42	0.25	0.67
Belonidae	F3	0.34	0.29	0.28	0.35	0.63
Palinuridae	I20	0.35	0.25	0.40	0.19	0.59
Mugilidae	F20	0.46	0.10	0.46	0.10	0.56
Pycnogonida	I15	0.18	0.33	0.46	0.05	0.51
Ariidae	F1	0.07	0.36	0.29	0.14	0.43
*Carangidae 1	F4	0.14	0.29	0.27	0.16	0.43
Hemiramphidae	F16	0.31	0.08	0.38	0.01	0.39
*Serranidae 2	F31	0.14	0.22	0.30	0.06	0.36
Priapula	I7	0.05	0.15	0.10	0.10	0.20
Echiura	I14	0.05	0.13	0.17	0.01	0.18
Kyphosidae	F18	0.03	0.05	0.08	0.00	0.08

Tabla 5. Índice de importancia topológica de la red trófica de la zona protegida época fría (ZPEF) de Isla San José, los grupos de familias están organizados de mayor a menor basados en su importancia (*IK)*. K_{bu}= importancia de abajo-arriba (*bottom-up)*, K_{td}= importancia de arriba-abajo (*top-down)*, K_{dir}= importancia de efectos directos, K_{ind}= importancia de efectos indirectos.

Grupo funcional	Clave	*Kbu*	*Ktd*	*Kdir*	*Kindir*	*IK*
Detritus	D1	29.21	0.00	6.00	23.21	29.21
Triakidae	F21	0.00	21.49	6.83	14.66	21.49
Microfauna	I2	15.75	0.05	6.64	9.16	15.80
Fitoplancton	A3	8.75	0.00	2.54	6.21	8.75
*Haemulidae 1	F5	0.05	7.60	4.99	2.66	7.65
Algas bentónicas	A1	7.19	0.00	3.75	3.45	7.19
*Carangidae 2	F2	0.00	6.96	2.87	4.09	6.96
Zooplancton	I1	5.80	0.13	2.56	3.37	5.93
Cephalopoda	I12	1.26	3.97	3.45	1.78	5.23
Polychaeta	I13	3.18	1.86	3.66	1.38	5.04
Gastropoda	I9	3.02	1.92	3.28	1.66	4.94
Penaeidae	I19	3.63	1.14	3.88	0.88	4.77
*Serranidae 3	F20	0.00	4.69	1.70	2.99	4.69
*Scombridae 3	F18	0.00	4.67	1.90	2.77	4.67
Portunidae	I23	2.01	2.43	3.55	0.90	4.44
*Lutjanidae 2	F9	0.00	4.12	1.96	2.16	4.12
Bivalvia	I10	3.75	0.18	2.26	1.67	3.93
*Haemulidae 2	F6	0.00	3.80	1.85	1.95	3.80
*Scombridae 1	F16	0.25	3.21	2.02	1.44	3.46
Stomatopoda	I17	0.65	2.19	1.64	1.20	2.84
Amphipoda	I18	2.55	0.23	1.59	1.19	2.78
Mullidae	F11	0.13	2.48	1.52	1.09	2.61
Echinoidea	I26	0.71	1.85	1.50	1.06	2.56
Cnidaria	I4	2.05	0.50	1.44	1.12	2.56
Asteroidea	I24	0.46	1.99	1.63	0.82	2.45
Polyplacophora	I8	1.14	1.14	1.59	0.69	2.28
Pomacentridae	F14	0.44	1.83	1.41	0.86	2.27
Porifera	I3	1.89	0.05	0.90	1.05	1.95
Ophiuroidea	I25	1.64	0.26	0.98	0.92	1.90
Scaridae	F15	0.50	1.28	1.31	0.48	1.79
Muraenidae	F12	0.13	1.63	0.65	1.10	1.75

Continuación tabla 5

Grupo funcional	Clave	*Kbu*	*Ktd*	*Kdir*	*Kindir*	*IK*
*Scombridae 2	F17	0.41	1.27	0.97	0.71	1.68
Holocentridae	F8	0.43	1.25	0.90	0.77	1.67
Restos de peces	F0	1.58	0.00	0.95	0.63	1.58
Algas simbióticas	A2	1.27	0.00	0.59	0.68	1.27
Mugilidae	F10	1.13	0.11	1.16	0.08	1.24
Anomura	I22	0.87	0.34	0.72	0.49	1.21
Balanidae	I16	0.91	0.21	0.55	0.57	1.12
Urochordata	I28	0.85	0.26	0.56	0.54	1.11
Holothuroidea	I27	0.89	0.15	0.71	0.33	1.04
Gerreidae	F4	0.05	0.96	0.47	0.54	1.01
Bryozoa	I5	0.72	0.26	0.54	0.45	0.99
Scyllaridae	I21	0.62	0.36	0.69	0.29	0.98
Scaphopoda	I11	0.69	0.04	0.43	0.30	0.73
Palinuridae	I20	0.34	0.30	0.48	0.17	0.64
Nematistiidae	F13	0.08	0.56	0.58	0.06	0.63
Ariidae	F1	0.05	0.55	0.35	0.26	0.61
Sipuncula	I6	0.37	0.15	0.39	0.13	0.52
Hemiramphidae	F7	0.41	0.10	0.46	0.04	0.51
Fistularidae	F3	0.17	0.13	0.14	0.17	0.31
Priapula	I7	0.05	0.24	0.13	0.16	0.28
*Serranidae 2	F19	0.00	0.27	0.18	0.09	0.27
Echiura	I14	0.05	0.15	0.19	0.00	0.19

Tabla 6. Índice de importancia topológica de la red trófica de la zona expuesta época cálida (ZEEC) de Isla San José, los grupos de familias están organizados de mayor a menor basados en su importancia (*IK)*. K_{bu}= importancia de abajo-arriba (*bottom-up)*, K_{td}= importancia de arriba-abajo (*top-down)*, K_{dir}= importancia de efectos directos, K_{ind}= importancia de efectos indirectos.

Grupo funcional	Clave	*Kbu*	*Ktd*	*Kdir*	*Kindir*	*IK*
Detritus	D1	34.45	0.00	6.01	28.44	34.45
Carcharhinidae	F5	0.00	32.69	11.28	21.42	32.69
Triakidae	F30	0.00	27.55	6.45	21.09	27.55
Microfauna	I2	19.77	0.05	7.85	11.97	19.82
Sphyraenidae	F29	0.00	12.02	3.58	8.48	12.06
Fitoplancton	A3	10.93	0.00	3.05	7.88	10.93
Algas bentónicas	A1	9.43	0.00	5.46	3.97	9.43
*Haemulidae 1	F11	0.39	7.70	5.48	2.62	8.09
Zooplancton	I1	7.76	0.12	3.30	4.57	7.87
*Carangidae 2	F4	0.21	6.05	2.77	3.49	6.26
Polychaeta	I13	4.43	1.44	3.80	2.07	5.87
*Scombridae 3	F26	0.00	5.38	1.23	4.19	5.42
*Haemulidae 2	F12	0.98	4.12	3.08	2.01	5.09
Cephalopoda	I12	2.06	2.37	3.10	1.33	4.43
Gastropoda	I9	2.61	1.78	2.98	1.42	4.40
Penaeidae	I19	3.32	1.03	3.12	1.23	4.35
Portunidae	I23	2.28	2.07	3.21	1.13	4.34
Bivalvia	I10	4.06	0.17	2.08	2.15	4.23
Cnidaria	I4	3.74	0.41	2.05	2.09	4.15
*Lutjanidae 1	F16	0.16	3.93	0.98	3.11	4.09
*Scombridae 1	F24	0.00	3.69	2.01	1.83	3.85
*Lutjanidae 2	F17	0.04	3.15	1.86	1.33	3.19
Clupeidae	F6	2.72	0.38	2.46	0.65	3.11
Mullidae	F19	0.13	2.95	1.68	1.41	3.09
Stomatopoda	I17	1.08	1.89	1.83	1.15	2.97
Amphipoda	I18	2.63	0.20	1.40	1.43	2.83
Porifera	I3	2.64	0.05	1.33	1.35	2.69
*Serranidae 1	F27	0.00	2.46	1.11	1.51	2.62
Asteroidea	I24	0.64	1.86	1.73	0.77	2.50
Elopidae	F8	0.08	2.32	1.49	0.91	2.40
Chanidae	F7	0.55	1.85	1.65	0.75	2.40
Ophiuroidea	I25	2.02	0.24	1.09	1.17	2.26
Polyplacophora	I8	1.21	0.92	1.44	0.69	2.13
Restos de peces	F0	2.12	0.00	1.10	1.02	2.12
Algas simbióticas	A2	2.07	0.00	0.79	1.28	2.07

Continuación tabla 6

Grupo funcional	Clave	*Kbu*	*Ktd*	*Kdir*	*Kindir*	*IK*
Echinoidea	I26	0.26	1.53	1.03	0.76	1.79
Ariidae	F1	1.04	0.52	1.33	0.23	1.55
Pomacentridae	F22	0.39	1.07	0.95	0.51	1.46
Scaridae	F23	0.83	0.53	1.26	0.11	1.36
Anomura	I22	1.00	0.32	0.70	0.62	1.31
Bryozoa	I5	1.07	0.24	0.65	0.66	1.31
Holocentridae	F14	0.08	1.14	0.64	0.57	1.22
Urochordata	I28	0.96	0.24	0.55	0.65	1.20
Balanidae	I16	0.93	0.19	0.53	0.59	1.12
*Scombridae 2	F25	0.00	0.92	0.72	0.39	1.10
Nematistiidae	F21	0.09	0.87	0.83	0.13	0.96
Fistularidae	F10	0.43	0.44	0.53	0.34	0.87
Holothuroidea	I27	0.69	0.13	0.55	0.27	0.82
Muraenidae	F20	0.04	0.78	0.37	0.45	0.82
Scyllaridae	I21	0.50	0.31	0.63	0.17	0.81
Scaphopoda	I11	0.73	0.03	0.41	0.35	0.76
Exocoetidae	F9	0.55	0.15	0.64	0.06	0.70
Sipuncula	I6	0.47	0.13	0.37	0.23	0.60
Palinuridae	I20	0.27	0.31	0.42	0.15	0.58
Mugilidae	F18	0.44	0.10	0.51	0.03	0.54
Pycnogonida	I15	0.18	0.35	0.47	0.06	0.53
Belonidae	F2	0.32	0.15	0.27	0.19	0.47
Hemiramphidae	F13	0.33	0.08	0.40	0.01	0.41
*Carangidae 1	F3	0.16	0.15	0.27	0.04	0.31
*Serranidae 2	F28	0.04	0.27	0.22	0.09	0.31
Priapula	I7	0.06	0.17	0.11	0.12	0.23
Echiura	I14	0.06	0.13	0.17	0.02	0.19
Kyphosidae	F15	0.04	0.05	0.09	0.00	0.09

Tabla 7. Índice de importancia topológica de la red trófica de la zona expuesta época fría (ZEEF) de Isla San José, los grupos de familias están organizados de mayor a menor basados en su importancia (*IK)*. K_{bu}= importancia de abajo-arriba (*bottom-up)*, K_{td}= importancia de arriba-abajo (*top-down)*, K_{dir}= importancia de efectos directos, K_{ind}= importancia de efectos indirectos.

Grupo funcional	Clave	*Kbu*	*Ktd*	*Kdir*	*Kindir*	*IK*
Detritus	D1	30.01	0.00	6.01	24.01	30.01
Triakidae	F21	0.00	23.46	5.58	17.88	23.46
Microfauna	I2	16.65	0.05	7.16	9.55	16.70
*Scombridae 3	F18	0.00	16.00	2.66	13.34	16.00
*Haemulidae 1	F5	0.06	10.53	6.53	4.07	10.59
*Carangidae 2	F3	0.20	10.06	3.89	6.37	10.26
Fitoplancton	A3	8.78	0.00	2.55	6.24	8.78
Algas bentónicas	A1	7.24	0.00	4.08	3.17	7.25
Cephalopoda	I12	1.97	4.78	3.68	3.07	6.75
Zooplancton	I1	6.37	0.13	2.81	3.69	6.51
*Haemulidae 2	F6	0.43	5.39	2.89	2.93	5.82
*Scombridae 1	F16	0.00	4.61	1.25	3.52	4.77
Polychaeta	I13	2.71	1.61	3.33	0.99	4.32
Gastropoda	I9	2.66	1.37	2.75	1.29	4.04
Penaeidae	I19	3.52	0.22	2.74	1.00	3.74
Amphipoda	I18	1.11	2.49	2.18	1.42	3.60
Bivalvia	I10	3.24	0.18	1.86	1.56	3.42
*Serranidae 3	F20	0.00	3.30	1.66	1.64	3.30
Ophiuroidea	I25	0.60	2.67	2.00	1.27	3.27
Mullidae	F11	0.16	2.90	1.65	1.40	3.06
*Lutjanidae 2	F9	0.00	3.00	1.75	1.25	3.00
Belonidae	F2	0.31	2.42	1.18	1.55	2.73
Cnidaria	I4	2.22	0.50	1.76	0.96	2.72
Asteroidea	I24	0.41	2.06	1.82	0.66	2.48
Portunidae	I23	2.00	0.34	1.70	0.63	2.34
Polyplacophora	I8	1.23	0.93	1.45	0.70	2.15
Porifera	I3	2.08	0.05	1.20	0.93	2.14
Palinuridae	I20	0.83	1.25	1.48	0.61	2.09
Holocentridae	F8	0.65	1.39	1.14	0.90	2.04
Holothuroidea	I27	0.13	1.66	1.02	0.78	1.80
Restos de peces	F0	1.37	0.00	0.96	0.67	1.63
Stomatopoda	I17	1.30	0.20	0.98	0.52	1.50

Continuación tabla 7

Grupo funcional	Clave	*Kbu*	*Ktd*	*Kdir*	*Kindir*	*IK*
Scaridae	F15	0.78	0.67	1.32	0.13	1.45
Algas simbióticas	A2	1.43	0.00	0.67	0.77	1.43
Echinoidea	I26	1.17	0.25	0.91	0.51	1.42
Mugilidae	F10	1.16	0.11	1.17	0.10	1.27
*Scombridae 2	F17	0.06	1.13	0.62	0.57	1.19
Pomacentridae	F14	0.10	1.05	0.85	0.30	1.15
Muraenidae	F12	0.13	0.96	0.47	0.62	1.08
Bryozoa	I5	0.70	0.25	0.53	0.43	0.96
Scyllaridae	I21	0.59	0.29	0.73	0.14	0.87
Scaphopoda	I11	0.71	0.04	0.43	0.31	0.75
Urochordata	I28	0.58	0.14	0.55	0.18	0.72
Nematistiidae	F13	0.10	0.55	0.58	0.07	0.65
Fistularidae	F4	0.00	0.65	0.16	0.49	0.65
*Serranidae 2	F19	0.00	0.60	0.23	0.37	0.60
Anomura	I22	0.22	0.37	0.40	0.19	0.59
Ariidae	F1	0.52	0.00	0.31	0.21	0.52
Balanidae	I16	0.04	0.41	0.39	0.07	0.46
Sipuncula	I6	0.31	0.14	0.39	0.07	0.46
Hemiramphidae	F7	0.20	0.09	0.29	0.00	0.29
Priapula	I7	0.04	0.24	0.13	0.15	0.28
Echiura	I14	0.04	0.14	0.18	0.00	0.19

8 DISCUSIÓN

8.1 ESTRUCTURA COMUNITARIA

8.1.1 Composición específica

El elenco íctico de Isla San José se integró por 63 especies, 47 géneros y 29 familias, específicamente capturadas con red agallera. En este sentido, en el Golfo de California (GC), el número de especies de peces registradas a través del tiempo se ha incrementado de forma sostenida. Walker (1960) registró 526 especies y años después este número ascendió a 750 reportadas (Thomson y Gilligan, 1983). Por otro lado, Hastings (2000) y Thomson *et al.* (2000), registraron 875 organismos y en años recientes, está lista ha aumentado. Así Brusca y Findley (2005) listaron 891 especies, tiempo después Hastings *et al.* (2010) incrementaron a 911 especies. En términos comparativos, la ictiofauna encontrada para Isla San José equivale al 7% (63 especies) del total reportado para el GC.

Es importante señalar, que los resultados obtenidos, corresponden exclusivamente a la ictiofauna vulnerable a las redes de enmalle (tipo agallera) y distribuidas principalmente en arrecifes rocosos, lo cual contrasta fuertemente con los métodos de captura y los tipos de hábitat incluidos en los trabajos citados con anterioridad. Recientemente se le ha comparado al GC con otras regiones del mundo y resulta ser en términos generales más diversa (Palacios-Salgado *et al.,* 2012) que otros ambientes insulares del Pacifico oriental tropical, tales como las Islas Galápagos, Islas Cocos e Islas Malpelo (Del Moral-Flores *et al,.* 2013).

En comparación con la composición de especies en la región sur del Golfo de California, estudios similares, para el área de Bahía de La Paz, Abitia-Cárdenas *et al*. (1994) reportaron 90 especies, mientras que Galván-Piña *et al*. (2002) registraron 92 especies. Para Isla Espíritu Santo, Pérez-España *et al*. (1996) registraron 76 especies y Arreola-Robles (1998) reportó 80 especies. En Isla Cerralvo Galván–Magaña *et al.* (1996) registraron 174 especies. Para Los Islotes Aburto-Oropeza (1999) registró 102 especies, mientras 42 especies fueron reportadas para la ensenada de la Paz por Malpica-Maury (1999). Fuera de las aguas de la Bahía de la Paz, en el área de Cabo Pulmo Álvarez-Filip y Reyes-Bonilla (2006), enlistaron 126

especies, y Saldívar-Lucio registró 109 especies. Finalmente para el arrecife de los Frailes Moreno-Sánchez (2009) registró 89 especies.

En este sentido la riqueza de especies reportada para Isla San José es relativamente baja en comparación con los estudios previos en el GC y puede ser un reflejo de la manera de operar del arte de captura, ya que solo quedan representadas aquellos organismos que se desplazan en la columna de agua, por lo cual, aquella ictiofauna que se encuentra asociada al fondo (peces demersales) y especies de menor tamaño o juveniles queda escasamente representada (Acevedo-Cervantes, 1997; Montoya-Campos, 2009).

Durante los últimos diez años, los estudios enfocados para evaluar el número de especies de peces en Isla San José son mínimos. Destacan por su importancia el realizado por Uscanga-Aguilar (2002) quien registró 62 especies utilizando el mismo arte de captura (red agallera) pero con un menor número de localidades de muestreo, enfocándose principalmente en la región sur de la Isla. Por otro lado, con otros métodos de evaluación (censos visuales) se han reportado un número mayor de especies, así Villegas-Sánchez *et al.* (2009) reportaron 84 especies y su trabajo se enfocó principalmente a las especies con hábitos diurnos y conspicuos. Asimismo, Barjau-González *et al.* (2012, a, b) reportaron 112 especies en 8 localidades alrededor de la Isla efectuando censos diurnos.

A diferencia de los trabajos anteriores en los cuales se utilizaron métodos de evaluación directos, Montoya-Campos (2009) analizó la composición de la captura comercial (redes de enmalle y anzuelos) para una sola localidad cercana a la Isla (El Pardito) y reportó en total 61 especies, es importante señalar que esta estimación pudiera estar subestimada debido a que la actividad de pesca está dirigida a especies de interés comercial (principalmente tiburones y rayas).

Una de las estimaciones más recientes que se tiene sobre el número de especies presentes en Isla San José corresponde al realizado por Palacios-Salgado *et al*. (2012), quienes elaboraron un listado taxonómico a partir de observaciones *in situ* (censos visuales), así como de ejemplares capturados con diferentes tipos de redes (agallera y charalera), también incluyeron especies que se encuentran depositados en colecciones ictiológicas y las reportadas en la literatura

especializada. De igual forma Del Moral-Flores *et al*. (2013) a partir de información obtenida de diferentes fuentes (publicaciones especializadas, bases de datos electrónicas, material biológico depositado en diversas colecciones científicas, entre otras), reportaron 243 especies para Isla San José. Vale la pena señalar que para este último trabajo también se incluyeron especies capturadas u observadas con diferentes técnicas de muestreo.

Las marcadas diferencias observadas en cuanto al número de especies reportadas entre uno y otro trabajo pueden ser debidas esencialmente a dos factores principales. Por un lado, es evidente la alta variabilidad en los métodos y técnicas de evaluación utilizados en los diferentes estudios, los cuales van desde las estimaciones directas en campo (censos visuales) hasta el uso de sustancias (p.e. quinaldina, etc.) para la captura de organismos. Por otro lado, las variaciones naturales (estacionales, espaciales) pudieran ser otra de las explicaciones a las diferencias observadas en el número de especies reportadas en la literatura

8.1.2 ABUNDANCIA Y BIOMASA RELATIVA

La abundancia permite reconocer aquellas especies que contribuyen en mayor número o biomasa al ecosistema (Acevedo-Cervantes, 1997; Campos-Dávila *et al.*, 2005), además, algunos autores señalan que la abundancia y distribución de las especies está relacionada estrechamente con las características propias del hábitat (Lagler *et al.,*1984; Torres-Orozco, 1994; Acevedo-Cervantes, 1997) y la capacidad de los organismos para tolerar las condiciones adversas en el ambiente, se constituyen como las propiedades fundamentales que limitan la distribución y la abundancia de las poblaciones dentro del ecosistema (Campos-Dávila *et al*.,2005; Villegas-Sánchez *et al.,* 2009; Moreno-Sánchez, 2009).

En este sentido, de las 63 especies capturadas, siete organismos aportaron cerca del 70% de la abundancia total (Fig. 3a), de las cuales sobresalen *Microlepidotus inornatus, Haemulon scudderi, H. flaviguttatum, Mulloidichthys dentatus*, por mencionar algunas, mientras que, la contribución en biomasa fue por nueve especies (Fig. 3b), como *M. inornatus, Euthynnus lineatus, Caranx caballus*,

entre otras, cabe resaltar que *M*. *inornatus* presentó una aportación tanto en número (11%) como en biomasa (12%) equivalente a 346 kg.

De las familias que más especies aportaron en número a la captura total en este estudio, destacan Haemulidae (nueve especies) y Carangidae (seis especies), lo cual coincidió con las familias importantes registradas en las Bahías Loreto (Campos-Dávila *et al*., 2005) y La Paz (Galván-Piña *et al.,* 2002). Específicamente en Isla San José, Uscanga-Aguilar (2002) reportó que peces de la familia Haemulidae (*M. inornatus*) pueden ser consideradas como residentes de la isla, debido a que se encuentra en todo el arrecife rocoso de Isla San José y de manera general se les encuentra en los arrecifes tropicales y subtropicales del Pacifico oriental tropical (Barjau-González *et al.,*2012a).

Asimismo Montoya-Campos (2009), Barjau-González *et al.* (2012a, b), Palacios-Salgado *et al.* (2012) y Del Moral-Flores *et al.* (2013) han reportado que la familia Haemulidae y Carangidae contribuye en mayor medida ya sea en número o en biomasa con los porcentajes más altos en Isla San José. Es importante señalar que éstas familias presentan una amplia distribución en el Pacifico oriental tropical (Robertson y Allen, 2008; Del Moral-Flores *et al.,* 2013), son consideradas especies euritérmica, se concentran en cardúmenes y viven asociados a los arrecifes rocosos, durante el día se desplazan hacia regiones rocosas posteriormente durante la noche hacia zonas arenosas para alimentarse (Hobson, 1968; Thomson, 1983; Allen y Robertson, 1994; Nelson, 2006).

Se debe señalar que los estudios realizados al sur del Golfo de California no pueden ser directamente comparables, ya que en primera instancia existen discrepancias en espacio y tiempo, en este sentido, el arte e intensidad de muestreo varía considerablemente, debido a que el uso de censos visuales tiene la ventaja que es un método no invasivo en el ecosistema, sin embargo, la manera de operar (horarios diurnos) deja escasamente representada aquellas especies de hábitos nocturnos (Pérez-España *et al*., 1996; Aburto-Oropeza y Balart-Paez, 2001; Cálapiz-Segura, 2004; Villegas-Sánchez *et al.,* 2009; Barjau-González *et al.,* 2012a, b).

8.1.3 SIMILITUD COMUNITARIA

El análisis de similitud es una técnica empleada para clasificar grupos en términos de semejanza, los cuales pueden delimitar o representar comunidades bióticas (Ludwings y Reynolds, 1988). Con frecuencia en estudios ecológicos que utilizan este análisis, los datos empleados son la composición, abundancias y las variables ambientales (Galván-Piña *et al*., 2002).

En este sentido, los resultados registrados en el presente trabajo evidenciaron la formación de dos grupos en términos de riqueza específica y abundancia; el primero de ellos conformado por las localidades L1, L3, L4, L5, y L6 ubicadas en la zona protegida de la Isla (ZP), la cual presenta ambientes lagunares-estuarinos, con playas arenosas, rocosas y profundidades <6 m y un segundo grupo compuesta por las localidades L2, L7, L8, L9 y L10, localizadas en la zona expuesta de la Isla (ZE), con sustrato predominantemente rocoso, con acantilados pronunciados y profundidades >10 m.

Una explicación de la formación de los dos grupos, pudiera ser la separación natural que tiene Isla San José con la península de Baja California, además es una zona de transición de dos masas de aguas (SEMARNAP, 2000), la corriente de California (con mayor influencia durante los meses de otoño-invierno) y la corriente oeste mexicana (con más velocidad en los meses de primavera y verano) (Kessler, 2006), lo que origina que una parte de la Isla (ZE) esté sujeta en mayor medida a la exposición de vientos y oleaje (Uscanga-Aguilar, 2002; Montoya-Campos, 2009; Villegas-Sánchez *et al.,* 2009; Barjau-González *et al.,* 2012a, b). Estudios similares en regiones aledañas a la zona de estudio (norte o sur), si bien no han definido regiones protegidas y expuestas como tal, señalan que mediante este análisis les permite reconocer dos o tres grupos bien diferenciado, en términos del tipo de sustrato (arenoso, fangoso o rocoso) o preferencias del hábitat que cada especie presenta (Acevedo-Cervantes, 1997; Campos-Dávila *et al*., 2005; Galván-Piña *et al.,* 2002; Álvarez-Filip *et al.,* 2006; Moreno-Sánchez,2009; Barjau-González *et al.,* 2012a, b).

8.1.4 ÍNDICES ECOLÓGICOS

Una aproximación cuantitativa de la estructura comunitaria la brindan los índices de diversidad, puesto que consideran dos componentes, tanto el número de especies (definido como riqueza específica) y la manera en cómo se encuentra distribuida la abundancia de cada una de las especies respecto a la total (equidad; Pielou, 1975). Es por ello, que contar con este tipo información es útil como indicadores de un efecto ambiental o alteración del ecosistema por manipulación antrópica (Moreno, 2001).

En este sentido, uno de los factores ambientales que desencadena un fuerte efecto en la estructura de las comunidades de peces es la temperatura, así como sus oscilaciones en el tiempo debido a que interviene directamente en la regulación de la dinámica y función intrínseca de las especies (reproducción, crecimiento, migración, alimentación, etc.) (Nikolsky, 1963; Nagelkerken *et al.,* 2000; Bergenius *et al.,* 2005; Gratwicke y Speight, 2005). En la región sur del Golfo de California existe la presencia de especies con una gran capacidad de tolerancia a los cambios de temperatura (Pérez-España *et al.,* 1996), por lo que, el reconocimiento de dos épocas (cálida y fría) ha sido documentada en otras áreas del Golfo de California, como son Isla Cerralvo e Isla Espíritu Santo y en las Bahías de Loreto y La Paz, donde se han documentado un incremento en los atributos ecológicos durante las épocas cálidas y valores más bajos en las épocas frías (Pérez-España *et al*., 1996; Acevedo-Cervantes, 1997; Balart-Páez *et al*., 1997; Campos-Dávila *et al*., 2005; Galván-Piña *et al*., 2002; Aburto-Oropeza y Balart-Paez, 2001; Arreola-Robles y Elorduy-Garay, 2002; Cálapiz-Segura, 2004; Barjau-González *et al,.* 2012a, b). Este patrón se manifiesta también en otros ecosistemas tropicales y subtropicales del sur del Golfo de California (Moreno-Sánchez, 2009; Saldívar-Lucio, 2010).

De acuerdo a las estimaciones obtenidas en este estudio, se encontró un incremento de los atributos ecológicos (abundancia, biomasa, riqueza específica, diversidad y equidad) (Figs. 5 y 6 y Tabla 1) en las zonas protegidas durante la época cálida, por el contrario, los menores valores se registraron en las zonas expuestas en la época fría, tal y como lo documentó Uscanga-Aguilar (2002) tres de sus cinco zonas de colecta corresponde a la región protegida de la Isla y señala que

en estas localidades se presentaron diferentes tipos de sustratos lo que propició una mayor cantidad de refugios y favorece el incremento de la riqueza de especies así como de su abundancia. Villegas-Sánchez *et al.* (2009), señalaron que la variación registrada en los valores de diversidad, riqueza y abundancia de especies en Isla San José está directamente relacionada con la mayor o menor heterogeneidad ambiental (hábitats disponibles) y las condiciones oceanográficas prevalecientes en la zona.

En el trabajo de Montoya-Campos (2009), los registros de especies se efectuaron de las capturas de la pesquería artesanal, razón por lo cual las variaciones en los índices ecológicos se atribuyeron directamente al uso diferencial de las artes de pesca utilizados por los pescadores, por lo que no se puede considerar el contrastar los resultados obtenidos en esa investigación con el presente trabajo. Recientemente en Isla San José, Barjau-González *et al*. (2012a, b) desarrollaron un estudio en donde se reportó que en los meses cálidos se registraron las mayores abundancias, así como un mayor incremento de los atributos ecológicos en la zona protegida ya que en esta se presentaron condiciones favorables (mayor disponibilidad de hábitats, menos exposición a las corrientes y oleaje) para el establecimiento de diferentes conjuntos ictiofaunísticos.

Además de la temperatura del agua la cual influye de manera directa en la variación del ensamblaje ictiofaunístico por zonas y épocas climáticas, sin duda la gran heterogeneidad espacial que se presenta en cada zona de Isla San José, juega un papel relevante y aunque en el presente estudio de manera cuantitativa no se realizó una descripción de estas características del hábitat, fue evidente la existencia de diferentes tipos de sustratos (desde arenosos hasta la presencia de conglomerados rocosos) en ambas zonas, por lo que tal y como lo señaló Moreno-Sánchez (2009), las características del hábitat tiene un efecto significativo en la estructura comunitaria, debido a que presentan un mayor número de microhábitats generados por la gran heterogeneidad del arrecife en términos de número y tamaño de oquedades, dimensión de las rocas, proporciones de sustrato y profundidad. Estas características permiten albergar una mayor abundancia y diversidad de especies, incluyendo peces.

8.1.5 DOMINANCIA COMUNITARIA (IVB, Índice del valor biológico de *Sanders*)

No todas las especies ejercen la misma influencia sobre la naturaleza de la comunidad, aquéllas dominantes ejercen un mayor control sobre la estructura de la comunidad y muchas veces se habla de dominancia en términos de abundancia, también el tamaño, la actividad o el rol ecológico pueden definir la dominancia. En este sentido, utilizar las abundancias en número más que en biomasa es un criterio válido para representar la estructura en una comunidad y de esta manera se elimina el sesgo asociado por el peso de algunos organismos de gran tamaño o que forman cardúmenes (Sanders, 1960).Es por ello, que el IVB pierde la diferencia cuantitativa absoluta de las abundancias de las especies y determina el grado de constancia espacio-temporal asignándoles puntajes por orden de importancia a las especies (Sanders, 1960; Loya-Salinas y Escofet, 1990). La estructura comunitaria registrada en el presente estudio de manera general, estuvo fuertemente dominada por 16 especies de las cuales *M. inornatus, M. dentatus, H. scudderi, C. caballus, N. pectoralis* y *K. analogus* en conjunto aportaron más del 60% (Fig. 7a).

Espacio-temporalmente, se detectó la sucesión de jerarquías de algunas especies en las zonas y épocas climáticas analizadas, en la ZPEC y ZPEF se mantiene *M. inornatus* (en primer orden) y *M. dentatus* en tercer orden, sin embargo, existe un intercambio de importancia por *H. scudderi* (cuarto lugar) y *C. caballus* (segundo lugar) durante la época fría (ZPEF), en la ZEEC cambia la dominancia por *M. dentatus* quedando en segundo orden de importancia *M. inornatus* y en tercer lugar en la ZEEF, en esta misma zona, pasa a primer lugar *N. pectoralis* (Fig. 7, b, c, d, e). En este sentido, Rodríguez-Romero *et al.* (2009) mencionaron que *N. pectoralis* es un pez asociado a sustratos rocosos, muy móviles en la columna de agua así como un depredador especialista debido a que su espectro trófico lo componen especies de la familia Haemulidae y Mullidae, lo que pudiera indicar que esta especie está asociada a Isla San José con fines de alimentación principalmente.

Especies de la familia Haemulidae y Mullidae dominan fuertemente tanto por zonas como por épocas en la Isla, ambas familias poseen características como la

gran capacidad térmica, su comportamiento gregario, con algunos desplazamientos a la orilla en sustratos arenosos con fines alimenticios, condiciones que las faculta a poder permanecer en la isla durante todo el año (Uscanga-Aguilar, 2002).

Las especies mencionadas han sido reconocidas y enlistadas en diferentes trabajos realizados en el Golfo de California (Abitia-Cárdenas *et al.,* 1994; Pérez-España *et al.,* 1996; Palacios-Salgado *et al.,* 2012) así como en estudios efectuados en otras área (Palacios-Salgado *et al.* 2012; Del Moral-Flores *et al.* 2013), por lo que su rango de distribución es amplio.

La dominancia de estas especies también han sido documentadas por Uscanga-Aguilar (2002), Villegas-Sánchez *et al.* (2009); Montoya-Campos (2009) y Barjau-González *et al.* (2012a, b); aun cuando los métodos de captura empleados en algunos casos fueron diferentes.

Las especies menos representativas como tiburones y otros peces, evidencia la selectividad del arte de pesca utilizado (red agallera) ya que el tamaño de luz de malla de la red, está directamente relacionada con la talla y forma corporal del pez (Acevedo-Cervantes, 1997; Campos-Dávila *et al*., 2005; Galván-Piña *et al.,* 2002).

8.1.6 DIVERSIDAD TAXONÓMICA

Warwick y Clarke (1995) pioneros en los índices de diversidad taxonómica y de distintividad taxonómica promedio, incorporan información adicional al índice clásico de diversidad (Shannon y Weaver, 1949; Pielou, 1975), ya que consideran información funcional (Hall y Greenstreet, 1998; Xiujuan *et al.* 2010; Van-Wynsberge *et al.* 2012), así como diferencias taxonómicas (especie, género, familia, etc.) y/o filogenéticas entre las especies, lo cual ha demostrado ser, un buen indicador de perturbaciones naturales o antropogénicas (Warwick y Clarke, 1995; Hall y Greenstreet, 1998; Desrochers y Anand, 2004; Álvarez-Filip y Reyes-Bonilla 2006; Moreno-Sánchez, 2009; Saldívar-Lucio, 2010; Palacios-Salgado, 2011; Xiujuan *et al.,* 2010; Barjau-González *et al.,* 2012b; Van-Wynsberge *et al.,* 2012).

Las variaciones en la estructura taxonómica está asociada a diversos factores como las pesquerías, la calidad del agua (contaminantes), así como diferentes perturbaciones y esto ha sido documentado en ecosistemas estuarinos de China

(Xiujuan *et al.,* 2010), en arrecifes de coral de Australia (Hall y Greenstreet, 1998; Van-Wynsberge *et al.,* 2012), en México, sistemas lagunares de Campeche (Sosa-López *et al.,* 2005), en arrecifes rocosos y coralinos del Golfo de California (Álvarez-Filip y Reyes-Bonilla, 2006; Reyes-Bonilla y Álvarez-Filip, 2008; Moreno-Sánchez, 2009; Saldívar-Lucio, 2010; Barjau-González *et al.*, 2012b).

Los resultados de diversidad taxonómica mostraron un incremento en los valores Δ^+ y Λ^+ en las ZPEC (59 especies) y ZEEC (48 especies) en comparación de las ZPEF (38) y ZEEF (36) que registraron la menor diversidad respectivamente, esto pudiera explicarse en función de la temperatura y de la distancia taxonómica entre las especies, de acuerdo a la clasificación Linneana, en ambas zonas (ZPEC y ZEEC) presentan dos clases: Chondrichthyes (incluye a las familias Triakidae y Carcharinidae) y Actinopterygii (con 27 familias), diferente a las zonas ZPEF y ZEEF con menor diversidad taxonómica, registraron solo una clase, Actinopterygii con 21 familias.

En Isla San José solo existe un estudio desarrollado por Barjau-González *et al.* (2012b) quienes registran altos valores de diversidad taxonómica durante la época cálida y en la zona expuesta (Punta colorada) reportando 54 especies, similar a lo reportado en el presente estudio. Este patrón ha sido corroborado en arrecifes coralinos al sur del Golfo de California, por ejemplo, Álvarez-Filip y Reyes-Bonilla (2006) en Cabo Pulmo, analizaron datos relacionados con la abundancia de peces dos años (1987 y 2003), sin embargo, no encontraron diferencias estadísticas entre épocas, de igual forma Reyes-Bonilla y Álvarez-Filip (2008) tampoco evidenciaron diferencias atribuibles a la estacionalidad, por lo que ambos estudios infieren que las variaciones en este índice fueron debido al alto grado de redundancia ecológica en el ecosistema, lo que hace referencia a la presencia de especies que en estas áreas están realizando funciones ecológicas similares.

Moreno-Sánchez (2009), registró una elevada diversidad taxonómica en ambientes con alta complejidad estructural así como en épocas cálidas, lo cual atribuyó a la estacionalidad y a la mayor disponibilidad de microhábitats presentes en el arrecife de Los Frailes. Asimismo Saldívar-Lucio (2010), en un análisis de una

serie de tiempo más amplia para el arrecife de Cabo Pulmo en lo general no encontró cambios significativos en el tiempo, sin embargo, si detectó diferencias significativas en las variaciones de la estructura comunitaria en los años que impactos ambientales como el fenómeno del Niño se registraron en aguas del océano Pacífico.

Con base a los resultados obtenidos se puede considerar que Isla San José presenta dos zonas con características fisiográficas diferentes, asimismo, los valores de diversidad taxonómica estuvieron influenciados principalmente por la temperatura, valores altos registrados en la ZPEC, esta zona presenta una mayor variedad de hábitats y la heterogeneidad ambiental ha sido relacionada con una eleva riqueza de especies (Moreno-Sánchez, 2009; Palacios-Salgado, 2011), sin embargo, los valores bajos de diversidad taxonómica registrados en la ZEEF pudiera deberse a la homogeneidad del hábitat, es decir, estos hábitats son utilizados por especies cercanas taxonómicamente.

Lo anterior debido a que cuando se tienen especies de diferentes linajes (lejanas taxonómicamente) se puede esperar diferentes respuestas biológicas o habilidades fisiológicas y de este modo una elevada estabilidad y resiliencia del componente biótico, análogo a esto, especies cercanas taxonómicamente implica que la similitud ecológica entre especies incremente (Sosa-López, 2005), recientemente, asimismo, Palacios-Salgado (2011) menciona que existe un gradiente latitudinal de mayor diversidad taxonómica en Alto Golfo de California, disminuyendo hasta el Golfo de Tehuantepec, lo cual está relacionado con las diferentes afinidades biogeográficas, en el Alto Golfo incluye especies tropicales, subtropicales, templadas, ártico-boreales y templado-cálido, adicionalmente en esta zona, se registra un alto número de peces cartilaginosos, así como tiburones y rayas, contrario a esto, de Sinaloa hasta el Golfo de Tehuantepec incluyen especies con afinidad tropical y subtropical donde predominan altamente los teleósteos (Del Moral-Flores *et al.* 2013), por lo que es notable la diversidad íctica que se registra en el Golfo de California y contribuye con los valores más altos de diversidad taxonómica.

Tomando en consideración los altos valores de diversidad taxonómica se puede considerar que Isla San José es un área con arrecifes estables, en donde no

se detectó algún tipo de perturbación, aun cuando es objeto de una intensa pesca comercial y deportiva, así como de otras múltiples actividades ecoturísticas.

8.2 TOPOLOGÍA DE LA TRAMA TRÓFICA

La topología de la red es el estudio de la forma en cómo están distribuidas las relaciones (conexiones) entre las especies (Bascompte, 2007). Su estudio se enfoca principalmente en dos premisas. La primera (soportada en estudios recientes sobre redes complejas) menciona que la distribución de conexiones en redes reales difiere por mucho de la que se producirían por procesos aleatorios, es decir, distan significativamente de redes aleatorias y despliegan rasgos carentes de orden. La segunda, argumenta que las propiedades emergentes del análisis de su configuración revelan aspectos sobre la dinámica, tales como cuán resilientes son a la pérdida de nodos (especies) y como nodos nuevos se relacionan al momento de incorporarse a la red (Jordano *et al.,* 2009).

En este sentido, en el presente estudio se representa de manera gráfica quién interactúa con quién en la red trófica de la comunidad de peces asociados a arrecifes rocosos de Isla San José. El presente estudio es una de las primeras contribuciones de esta naturaleza para la zona de estudio. Estas representaciones gráficas, constituidas por nodos (especies, grupos funcionales, etc.) y conexiones o vínculos (interacciones) despliegan patrones en su estructura que han llamado la atención de los investigadores en diversas áreas de la ciencia, desde la física, pasando por las ciencias sociales, hasta la biología (Strogatz, 2001).

Existen diversos índices derivados del análisis topológico que describen la estructura de redes de interacción (Bersier *et al.,* 2002; Proulx *et al*., 2005). Si bien fueron utilizados originalmente para cuantificar la estructura de las redes en situaciones particulares, un número creciente de trabajos actuales reconoce su valor para investigar cambios en las comunidades biológicas que serían imperceptibles si fueran analizados solo con índices ecológicos convencionales (p.e. índices de diversidad y composición de especies) (Tylianakis *et al.,* 2010).

8.2.1 PROPIEDADES DE ESCALA LOCAL

Desde hace mucho tiempo se ha aceptado que las interacciones depredador-presa son una de las relaciones ecológicas más utilizadas para comprender la estructura y funcionamiento de los ecosistemas marinos (Cohen, 1978, Paine, 1980, Odum, 1972; Bascompte *et al*., 2006; Jordano *et al*., 2009). El estudio de estas propiedades (estructura y función) se ha desarrollado desde diferentes perspectivas, destacan por el número de aplicaciones y usuarios los modelos de balance de biomasa de tipo Ecopath (Polovina, 1984; Christensen, 2009; Coll *et al.* 2009), sin embargo, este enfoque tiene una limitación importante, y es que son muy demandantes de información de tipo biológico-pesquera (Plaganyi y Butterworth, 2004), información que para muchos ecosistemas es poca o en su defecto inexistente.

Una alternativa menos exigente está representada por el análisis de redes, el cual se basa en la teoría de grafos (Cohen, 1977; Borgatti *et al*., 2001). Asimismo, el análisis de redes ha sido reconocido como una aproximación analítica robusta para cuantificar la estabilidad y resiliencia de las redes biológicas ante diferentes perturbaciones, antrópicas o naturales, haciendo énfasis en la pérdida de especies y extinciones secundarias (Solé y Montoya, 2001; Dunne *et al.,* 2002, 2004; Ruiter *et al.,* 2005; Dunne y Williams, 2009; Benedek *et al.,* 2007; Ferretti *et al.,* 2010; Navia-López, 2013). En este sentido, en el presente estudio se describieron las propiedades topológicas de la red trófica de la comunidad de peces de Isla San José, analizando cambios en las propiedades de la topología de la red ante las variaciones espacio-temporal, principalmente de la comunidad de peces.

Es necesario precisar que la evaluación de las propiedades topológicas de la trama se basa exclusivamente en índices estructurales a nivel local (grado del nodo) y mesoescala (intermediación y cercanía). El análisis no considera ni la fuerza, ni la dirección de las interacciones tróficas. Previamente se mencionó en el apartado de material y métodos que la información sobre las interacciones tróficas proviene de bibliografía especializada (tesis, informes técnicos, artículos científicos, etc.), por lo cual el grado de detalle en la descripción de las dietas es altamente variable y de

alguna forma limita el alcance de los resultados y conclusiones derivados del estudio. Para ponderar esta variabilidad, el nivel de agregación taxonómico de los grupos tróficos se llevó a nivel de familia, con lo cual se garantizó una mayor homogeneidad en la matriz depredador-presa y se aseguró que todos los niveles tróficos estuvieran representados en la descripción de la estructura de la red (Navia *et al.,* 2010, 2012; Navia-López, 2013).

Sobre la base de la distribución del grado de los nodos (Fig. 10), el análisis muestra que un número reducido de nodos (algas bentónicas, microfauna, detritus y camarones peneidos) concentran un elevado número de conexiones, mientras que la mayoría de los nodos presentan pocos vínculos. El análisis numérico de estos datos, muestra que la organización global de las conexiones de los nodos se ajusta a una distribución de tipo potencial o también conocida como de libre escala (R^2 = 0.607). Este patrón en la distribución de las conexiones entre nodos, previamente ha sido reportado en redes ecológicas similares (Jordano *et al.,* 2009; Navia-López, 2013), en redes físicas y sociales (Albert y Barabási, 2002; Newman, 2003), en redes mutualistas planta-animal (Jordano *et al.,* 2009) y en redes tróficas (Solé y Montoya, 2001; Bascompte *et al.,* 2005; Navia e*t al.,* 2010, 2012; Navia-López, 2013).

Aunque no fue evaluado en este estudio, se menciona comúnmente en la literatura que cualquier red ecológica independientemente de su complejidad (p.e. de libre escala) es susceptible de cambiar su configuración actual a otra (p. e. mundo pequeño) ante cualquier perturbación (Amaral *et al.,* 2000; Jordano *et al.,* 2009), lo cual sugiere que pueden ser sensibles a la perdida local de especies (Williams *et al.,* 2002). Sin embargo, otros autores también mencionan que las redes ecológicas que se ajustan a un patrón de distribución de libre escala son más robustas ante la pérdida de especies clave (Jordano *et al.,* 2003; Navia-López, 2013).

Por otro lado, es poco el conocimiento generado a niveles de escala más amplia para observar la medida en que cambian o se mantienen los patrones de conexión entre las especies (Dézerald *et al.,* 2013). En este sentido, independientemente de las variaciones espacio- temporales en la composición de peces de Isla San José, la condición de libre escala en la distribución del grado del nodo (*D*), se mantuvo en todos los escenarios evaluados: ZPEC (R^2= 0.595), ZPEF

(R^2=0.506), ZEEC (R^2=0.562) y ZEEF (R^2= 0.430), es decir, la mayor parte de los nodos mantiene un número de conexiones limitado, en tanto que unos cuantos nodos concentran la mayoría de las interacciones (Figs. 10b, c, d, e).

Por otro lado, los valores de conectancia observados en los diferentes escenarios analizados fueron bajos (Tabla 2), sin embargo, la interpretación correcta de este atributo sigue manteniéndose en controversia. Por un lado, hay quienes proponen que existe una relación directamente proporcional entre diversidad y conectancia (Murakami *et al.,* 2008; Sabatino *et al.,* 2010), es decir, a mayor diversidad biológica mayores valores de conectancia. Adicionalmente se ha propuesto que valores elevados de conectancia funcionan como un seguro biológico para las comunidades, esto es, protegen a las comunidades de extinciones secundarias (Dunne *et al.,* 2002). En contra parte, también existen autores que han demostrado que valores bajos de conectancia se relacionan con un elevado número de grupos redundantes (Cagnolo y Valladares, 2011; Navia-López, 2013) y recientemente, los valores bajos de conectancia se han vinculado con la ganancia de especies generalistas en la red (Dézerald *et al.,* 2013). Es por ello, que la conectancia es una medida que se ha utilizado como indicador de la complejidad de las redes. Desde hace poco más de 40 años, May (1972) ya había relacionado este atributo con la estabilidad de los ecosistemas (Dézerald *et al.,* 2013).

8.2.2 PROPIEDADES DE MESOESCALA

Se sabe que en los ecosistemas marinos las especies juegan roles diferentes y mantienen varias y diversas conexiones con otras especies dentro la trama trófica (Cagnolo y Valladares, 2011). Es por ello, que caracterizar la posición de las especies en la red, más allá de cuantificar cuántos nodos se conectan a otros (grado del nodo), es necesario utilizar otras medidas que consideren la proximidad de cada especie (índices de centralidad a nivel mesoescala), ya que aportan una idea más clara al considerar el promedio de esas conexiones y que tanto varía el patrón de interacción de una especie en particular (Jordano *et al.,* 2003, 2009).

Al respecto, en el presente estudio se observó que los niveles tróficos inferiores (algas betónicas, microfauna, crustáceos, clupeidos, entre otros) ocupan los lugares más importantes (valores de intermediación más altos) en la propagación de efectos indirectos y se propone que su pérdida o eliminación desencadenaría alteraciones o modificaciones importantes en la configuración y funcionamiento de la red (Fig. 11). Pocos estudios a nivel mundial han utilizado estos índices para medir las propiedades estructurales en ecosistemas marinos. Por ejemplo, Navia *et al.,* (2010, 2012) analizaron la importancia topológica de peces condrictios en el Golfo de Tortugas, Colombia, utilizando índices de escala local (índice del grado) e intermedia (mesoescala: cercanía e intermediación), para evaluar la importancia posicional de tiburones en la red trófica. En este trabajo se concluyó que los elasmobranquios tienen baja participación en la distribución de efectos en la red, es decir, presentan valores de intermediación bajos, por lo que su reducción o eventual eliminación del ecosistema no ocasionaría cambios significativos en la estructura de la red alimentaria.

En el presente estudio, los resultados encontrados respecto a este índice de intermediación, son análogos, esto es, varios grupos de consumidores primarios son los responsables de la mayor dispersión de efectos (altos valores de intermediación). Es importante señalar, que en el trabajo de Navia *et al.,* (2010, 2012), los autores ponen principal énfasis en los peces cartilaginosos, mientras que en el presente estudio, los peces teleósteos son los mejor representados, por lo que las comparaciones directas entre indicadores debe ser realizadas con precaución.

De acuerdo a los valores derivados del otro índice de mesoescala, cercanía, varios grupos de consumidores primarios: microfauna, moluscos, poliquetos, camarones, entre otros, una vez más son identificados como los componentes tróficos que con mayor velocidad dispersan los efectos indirectos dentro de la trama trófica (Fig. 13). Algunos autores mencionan que la eliminación de esta clase de grupos tróficos podría ocasionar efectos secundarios, por ejemplo, efectos de cascada trófica (Jordán, 2003; Navia-López, 2013).

En este sentido, los resultados del presente estudio concuerdan con los reportados por Abarca-Arenas *et al.,* (2007) en el Golfo de México, Hernández *et al.*

2008 en Cuba, así como por Navia *et al.,* (2010, 2012), y Navia-López (2013) en Colombia; quienes registraron que los camarones (entre otras especies) representan una alta importancia estructural de acuerdo a este índice (cercanía). Adicionalmente Abarca-Arenas *et al.* (2007) y Hernández *et al.* (2008), al emplear un enfoque distinto (Ecopath), mencionaron que estos crustáceos son las especies clave para mantener la cohesión estructural y funcional de la red por lo que destacan la elevada presión por pesca que existe sobre este grupo.

Por su parte, Navia *et al.,* (2010, 2012) y Navia-López, (2013) reportaron que aquellas especies con valores relativamente elevados, no necesariamente representan las especies más importantes en la estructura de la red, por lo que en este tipo de redes altamente complejas, las especies con menor redundancia estructural son las especies con mayor relevancia (Jordán, 2001; Allesina y Bodini, 2005). Estos resultados contrastan con los resultados reportados por diversos autores quienes proponen existe una relación directa entre especies con alta conectividad y especies claves (Solé y Montoya, 2001; Dunne *et al.,* 2002; Gaichas y Francis, 2008).

8.2.3 CONTROL ECOSISTÉMICO DE LA RED TRÓFICA

Existe controversia acerca de cómo se regula la diversidad dentro de las comunidades, en términos generales, se acepta que los ecosistemas están sujetos a dos tipos de regulación, el control desde arriba (*top-down*) y el control desde abajo (*bottom-up*), ambos influyen, regulan y condicionan la composición y abundancia de los organismos (Menge, 1992; Menge, 2000; Cury *et al.,* 2003; Scheffer *et al.,* 2005; Hernández *et al.,* 2008). Asimismo, el conocimiento detallado acerca de qué control ecosistémico predomina en el ecosistema pudiera contribuir al desarrollo de medidas de manejo haciendo énfasis en la conservación de especies vulnerables (Navia-López, 2013).

La discrepancia entre muchos autores ha propiciado el desarrollo de distintas teorías, en donde algunos proponen que el control *top-down* es dominante en ecosistemas marinos y el *bottom-up* en ecosistemas de agua dulce y terrestres (Menge, 2000). Por otro lado, otros estudios señalan que existe una combinación de

ambos controles (Hunter y Price, 1992) y recientemente se ha propuesto que ambas fuerzas dependen una de la otra (Achá y Fontúrbel, 2003).

Los resultados del índice de importancia topológica para el arreglo general (AGISJ) y los escenarios simulados (ZPEC, ZPEF, ZEEC y ZEEF) de la red trófica de Isla San José, responden a un tipo de control ecosistémico de abajo hacia arriba (*bottom-up*), principalmente de los grupos posicionados en la región inferior de la trama trófica (detritus, algas bentónicas, fitoplancton y microfauna) y cuyos valores de importancia topológica los posicionan entre los primeros lugares, con una mayor predominancia en la dispersión de efectos indirectos (p.e. cascadas tróficas), de acuerdo con las familias dominantes de la estructura comunitaria (ver resultados, págs. 31 y 32), fueron Haemulidae 1 y 2, Kyphosidae, Carangidae y Lutjanidae 2, la mayoría de ellas hacen parte de su dieta a las algas y microfauna, por lo que en el índice de importancia topológica se implementaron a un mayor número de componentes tróficos (invertebrados y productores primarios), es decir, no solo teleósteos como en la caracterización de la estructura comunitaria, sin embargo, no significa que estas familias no fueron importantes en el análisis de importancia topológica, sin duda, de otra manera como su dieta es la que prevalecen en este análisis.

Es importante precisar que en este análisis no se consideró a otros organismos que forman parte de la cadena alimenticia (p.e. mamíferos marinos, aves y otras especies de tiburones de nivel trófico más elevado), siendo exclusivamente lo capturado por la red tipo agallera. Asimismo, la red trófica de ISJ se representó adecuadamente en todos sus niveles tróficos. Este mecanismo de control (*bottom-up*) se ha registrado en ecosistemas marinos a nivel mundial como Sudáfrica (Bustamante y Branch, 1996), Nueva Inglaterra (Leonard *et al.,* 1998, 1999), la costa oeste de los Estados Unidos (Nielsen, 2000, datos no publicados) y Nueva Zelanda (Stephenson y Stephenson, 1972; Menge, 1976) todos ellos mencionan que la predominancia de este control coincide en ecosistemas marinos donde existe una gran variación oceanográfica (p.e surgencias y corrientes), consideradas en términos generales, zonas de alta productividad primaria (Menge *et al.,* 1999; Menge, 2000; Frederiksen *et al.,* 2006). En este sentido, uno de los principales efectos de las áreas

de afloramiento respecto a los procesos productivos es el aumento de los nutrientes (Lavin *et al.,* 2013), las algas liberan gran cantidad de materia orgánica disuelta, entre ellos, el detritus es una fuente importante de nutrientes disueltos (Rodríguez, 2000) y es un eslabón indispensable para enlazar los niveles tróficos basales con los intermedios (Abarca-Arenas *et al.,* 2007; Xochihua-Simón, 2009; Molina-Hernández, 2011), asimismo, se ha documentado que la presencia del detritus en la columna del agua favorece a las tasas de crecimiento de los filtradores bentónicos (Rodríguez, 2000). Aunque al detritus no se le puede considerar un organismo vivo ni clasificarse como grupo taxonómico, en el presente estudio se incluyó como parte de los grupos basales que conforman la red trófica de Isla San José, por lo que varios grupos tróficos como invertebrados y peces lo consumen y descartarlo conllevaría a sesgar la información únicamente hacia los niveles superiores; Menge (2000) y Molina-Hernández (2011) mencionan que incluir al detritus en una comunidad aumenta los recursos de abajo hacia arriba e incrementan los niveles tróficos.

Algunos estudios mencionan que los procesos de abajo hacia arriba se pueden explicar en función del acoplamiento pelágico-bentónico, esto es, la fracción de la producción primaria pelágica perdida en el sistema a través de su sedimentación al bentos (Goedkoop y Johnson, 1996), se le reconoce dos rutas de exportación, de las cuales: a) transferencia a otros miembros de la red trófica, es decir, consumo de organismos de tallas grandes como peces y su exportación como cadáveres, b) sedimentación de heces fecales de rápido hundimiento y fitoplancton no consumido hacia aguas profundas por debajo de la termoclina, además, se le atribuyen importantes consecuencias para el reciclamiento de nutrientes, las interacciones depredador-presa, la estructura y estabilidad de las redes tróficas (Grebmeier *et al.* 1988; Schindler y Scheuerell, 2002; Naumann *et al.* 2012).

El control de abajo hacia arriba se planteó como un control alternativo ya que fluye en sentido inverso al *top-down* (de arriba hacia abajo), donde los productores primarios son la fuerza principal que rigen en la comunidad (Achá y Fontúrbel, 2003), esto no implica que los procesos de arriba hacia abajo no jueguen un papel importante (Frederiksen *et al.,* 2006), sin embargo, otros autores sugieren que la omnivoría pudiera ser la fuerza principal en la regulación, debido a que tienen una

alimentación muy amplia incluyendo al detritus (Persson *et al.,* 1988; Diehl, 1992, 1993; Lawler y Morin, 1993; Morin y Lawler, 1996; Menge, 2000). Al respecto, ecosistemas marinos donde el control predominante es el *bottom-up*, la extracción por pesca de peces depredadores no perturba la estructura o función de la comunidad, asimismo, se sugiere poner principal énfasis en la explotación de las especies forrajeras o que se ubican en niveles tróficos intermedios, debido a que estas pueden causar cambios en el funcionamiento de los ecosistemas (Pauly *et al.* 1998; Cury *et al.,* 2003).

Aunque los resultados obtenidos pudieran ser influenciados por las propiedades particulares del arrecife rocoso, el presente estudio muestra una perspectiva de análisis topológico a nivel global, local y de mesoescala, permitiendo un nivel más detallado de la participación de estos organismos resaltando la importancia tanto de los depredadores tope como de los productores primarios e invertebrados los cuales son indispensables para la estabilidad de la red trófica de Isla San José, es por ello que este enfoque de análisis aporta herramientas más detalladas que las provistas por otras aproximaciones metodológicas tales como el análisis de contenidos estomacales o modelación a través del balance de biomasa (Abarca-Arenas *et al.,* 2007; Xochihua-Simón, 2009; Molina-Hernández, 2011) para explorar estos mecanismos de control y la dispersión de efectos directos e indirectos en el ecosistema.

9. CONCLUSIONES

- El elenco sistemático de la ictiofauna de Isla San José, se integró de 63 especies, 47 géneros y 29 familias. Las familias mejor representadas en términos de especies fueron; Haemulidae (nueve especies) y Carangidae (seis especies). Las especies más importantes dentro de la abundancia fueron *Microlepidotus inornatus, Haemulon scudderi, H. flaviguttatum, Mulloidichthys dentatus,* mientras que en términos de biomasa *M. inornatus, Euthynnus lineatus y Caranx caballus* fueron las de mayor aportación.

- Los resultados evidenciaron la formación de dos grupos en términos de riqueza específica y abundancia de especies; el primero de ellos conformado por las localidades ubicadas en la zona protegida de la Isla, y un segundo grupo compuesta por las localidades que se ubicaron en la zona expuesta de la Isla, asimismo, se registró un incremento de los atributos ecológicos (abundancia, biomasa, riqueza específica, diversidad y equidad) en las zonas protegidas durante la época cálida, mientras que los menores valores se registraron en las zonas expuestas en la época fría.

- Las especies dominantes en el arrecife rocoso de Isla San José fueron 16, de las cuales *Microlepidotus inornatus, Mulloidichthys dentatus, Haemulon scudderi, Caranx caballus, Nematistiius pectoralis* y *Kyphosus analogus* aportaron más del 60% del %IVB.

- Los resultados de diversidad taxonómica mostraron un incremento en los valores Δ^+ y Λ^+ en las ZPEC (59 especies) y ZEEC (48 especies) en comparación de las ZPEF (38) y ZEEF (36) que registraron la menor diversidad respectivamente. Tomando en consideración los altos valores de diversidad taxonómica se puede considerar que Isla San José es un área con arrecifes estables, en donde no se detectó algún tipo de perturbación, aun

cuando es objeto de una intensa pesca comercial y deportiva, así como de otras múltiples actividades ecoturísticas.

- La red trófica de Isla San José cumple con la distribución de ley de potencia o conocida de libre escala, sugiriendo que es altamente resistente a los efectos aleatorios que ejerzan sobre la trama alimentaria, asimismo, la trama trófica está constituida por un mayor número de grupos tróficos generalistas. La trama trófica del área de estudio, presenta una relativa estabilidad en sus interacciones tróficas, esto es, independientemente de los cambios espacio-temporales que se observan en sus componentes, la red mantiene bajos niveles de conectancia. Los valores bajos de conectancia son reconocidos como redes altamente estables, caracterizadas por la presencia de un elevado número de grupos redundantes.
- A nivel mesoescala (índices de intermediación y cercanía), la mayor distribución de efectos indirectos dentro de la trama trófica (interacciones) es debida principalmente a grupos que ocupan los niveles inferiores (algas betónicas, microfauna, crustáceos, clupeidos, entre otros). Al funcionar cómo los principales conectores entre los compontes basales y superiores de la trama alimentaria, su pérdida o extirpación pudieran ocasionar alteraciones o modificaciones importantes en la estructura de la misma, por ejemplo, efectos de cascada trófica.
- El control ecosistémico de la red trófica de Isla San José es de tipo *bottom-up* (de abajo hacia arriba) tanto en el arreglo general como en su variación espacial y temporal. Esto sugiere, que el detritus, varios grupos de productores primarios (algas bentónicas, zooplancton y microfauna) son las especies con mayor relevancia en los mecanismos de regulación vertical de la trama trófica. Es por ello, poner principal énfasis con medidas de conservación de estos grupos para el equilibrio del ecosistema.

10. LITERATURA CITADA

Abarca-Arenas, L.G., J. Franco-López, M.S. Peterson, N.J. Brown-Peterson y E. Valero-Pacheco. 2007. Sociometric analysis of the role of penaeids in the continental shelf food web off Veracruz, Mexico based on by-catch. *Fish. Res.* 87: 46-57.

Abitia-Cárdenas, L. A., J. Rodríguez-Romero, F. Galván-Magaña, J. de la Cruz-Agüero y H. Chávez-Ramos. 1994. Lista sistemática de la ictiofauna de Bahía de La Paz, B.C.S., México. *Cien. Mar.* 20(2):159-181.

Aburto-Oropeza, O. 1999. *Relación entre la distribución y la diversidad con respecto al hábitat, de la ictiofauna arrecifal de Los Islotes, B. C. S., México.* Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. 71 pp.

Aburto-Oropeza, O. y E. F. Balart. 2001. Community structure of reef fish in several habitats of rocky reef in the Gulf of California. *Mar. Ecol*. 22(4):283-305.

Acevedo-Cervantes, A. 1997. *Caracterización ecológica de la comunidad íctica de la Laguna Ojo de Liebre, B.C.S. México.* Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN.108 pp.

Achá, D. y F. Fontúrbel. 2003. La diversidad de la comunidad, ¿Está controlada por Top-Down o Buttom-Up o una combinación de estos?. *Rev. biología. org.* 13: 1-16.

Albert, R. y A. L. Barabási. 2002. Statistical mechanics of complex networks. *Rev. Mod. Phys*. 74: 47-97.

Allen, G. R. y D. R. Robertson. 1994. *Fishes of tropical Eastern Pacific*. University of Hawaii Press, Honolulu. 332 pp.

Alvarez-Filip, L. 2004. *Influencia del hábitat sobre la asociación de peces en el arrecife coralino de Cabo Pulmo, B.C.S., México*. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. 102 pp.

Alvarez-Filip, L. H. Reyes-Bonilla, L.E. Calderón-Aguilera. 2006. Community structure of fishes in Cabo Pulmo Reef, Gulf of California. *Mar. Ecol. Prog Ser*. 27:253–262.

Allesina, S. y A. Bodini. 2005. Food web networks: Scaling relation revisited. *Ecol. Complex*., 2: 323-338.

Arreola-Robles, J. L. 1998. *Diversidad de peces de arrecife en la región de La Paz, B.C.S., México*. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. 83 pp.

Arreola-Robles, J. L. y J. F. Elorduy-Garay. 2002. Reef fish diversity in the region of La Paz, Baja California Sur, México. *Bull. Mar. Sci*. 70(1):1-18.

Amaral, L. A, A. Scala, M. Barthélémy y H. E. Stanley. 2000. Classes of small-world networks. *Proc. Natl. Acad. Sci*. *USA*. 97(21): 11149–52.

Balart-Páez, E.F., J.L. Castro-Aguirre, D. Aurioles-Gamboa, F. García-Rodríguez, y C. Villavicencio-Garayzar. 1995. Adiciones a la ictiofauna de Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. Hidrobiología. 5(1-2):79-85.

Balart-Páez, E.F., J.L. Castro-Aguirre y De-Lachica-Bonilla, F., 1997. Análisis comparativo de las comunidades ícticas de fondos blandos y someros de la Bahía de La Paz, B.C.S. En: Urbán-Ramírez, J., Ramírez-Ramírez, M. (Editores), La Bahía de La Paz, investigación y conservación. *UABCS, CICIMAR, SCRIPPS*. La Paz, B.C.S., México, pp. 163-176.

Barausse, A., A. Ducci, C. Mazzoldi, Y. Artoli y L. Palmeri. 2009. Trophic network model of the Northern Adriatic Sea: analysis of an exploited and eutrophic ecosystem. *Estuar. Coast. Shelf Sci*., 83: 577-590.

Barjau-González, E., J. Rodríguez-Romero, F. Galván-Magaña, F.J. Gutiérrez-Sánchez y J. López-Martínez. 2012a. Estructura temporal y espacial de la comunidad de peces arrecifales de la Isla San José, Golfo de California, México. *Rev. Biol. Trop*. 60(2): 649-667.

Barjau-González E., J. Rodríguez-Romero, F. Galván-Magaña y J. López-Martínez. 2012b. Changes in the taxonomic diversity of the reef fish community of San José Island, Gulf of California, Mexico. *Biodivers. Conserv*. 21(14): 3543-3554.

Bascompte, J. y P. Jordano. 2006 The structure of plant-animal mutualistic networks. En: Pascual, M. y Dunne, J. (eds.). *Ecol. Netw*. Oxford University Press, Oxford, U.S. 143-159 pp.

Bascompte, J., C.J. Melián y E. Sala. 2005. Interaction strength combinations and the overfishing of a marine food web. *Proc. Natl. Acad. Sci.* USA., 102: 5443–5447.

Bascompte, J. 2007. Networks in ecology. *Basic Appl. Ecol.* 8:485-490.

Baum, J.K. y B. Worm. 2009. Cascading top-down effects of changing oceanic predator abundances. *J. Anim. Ecol*., 78: 699-714.

Bravo-Núnez, E. 1991. Sobre la cuantificación de la diversidad ecológica. *Hidrobiología*.1(1):87.

Brusca, R. C. y L. T. Findley. 2005. El Mar de Cortés. En Listado y distribución de la macrofauna del Golfo de California, México. Parte I. Invertebrados, M. E. Hendrickx, R. C. Brusca y L. T. Findley (eds.). Arizona-Sonora Desert Museum. 1-32 pp.

Bellwood, D.R., A.S. Hoey y J.H. Choat. 2003. Limited functional redundancy in high diversity systems: resilience and ecosystem function on coral reefs. *Ecol. Lett*. 6: 281-285.

Benedek Z, F Jordán y A Báldi. 2007. Topological keystone species complexes in ecological interaction networks. *Community Ecol*, 8:1–7.

Bergenius M.A., M. McCormick, M.G. Meekan y D.R. Robertson. 2005. Enviromental influences on larval duration, growth and magnitude of settlement of a coral reef fish. *Mar. Biol.* 147 (2): 291-300.

Bersier, L.F., C. Banasek-Richte y M.F. Cattin. 2002. Quantitative descriptors of food web matrices. *Ecology* 82:2394-2407.

Borgatti, S.P., M.G. Everett y L.C. Freeman. 1996. UCINET IV version 1.64. Analytic Technologies Natick, MA. Disponible en: http://www.analytictech.com/

Borgatti S.P., M.G. Everett y L.C. Freeman. 2002. UCINET VI: Software for Social Network Analysis, Analytic Technologies, Harvard MA: Analytic Technologies.

Bravo-Nuñez, E. 1991. Sobre la cuantificación de la diversidad ecológica. *Hidrobiología.* 1(1):87.

Bustamante, R.H. y G.M. Branch. 1996. Large scale patterns and trophic structure of southern African rocky shores: the roles of geographic variation and wave exposure. *J. Biogeogr*. 23, 339–351.

Cagnolo, L. y G. Valladares. 2011. Habitat fragmentation and food web disassembly. *Ecosistemas* 20(2-3): 68-78.

Cálapiz-Segura, A. 2004. *Composición y estructura comunitaria de peces de arrecife rocoso en Punta Perico e Isla Cerralvo, Baja California Sur, México*. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. 58 pp.

Campos-Dávila, L., V.H. Cruz-Escalona, F. Galván-Magaña, A. Abitia-Cárdenas, F.J. Gutiérrez-Sánchez y E.F. Balart-Páez. 2005. Fish assemblages in a gulf of California marine reserve. *Bull. Mar. Sci*. 77(3): 347–362.

Castro-Aguirre, J.L., E.F. Balart-Páez y J. Arvizu-Martínez. 1995. Contribución al conocimiento del origen y distribución de la ictiofauna del Golfo de California, México. *Hidrobiológica*. 5(1-2):57-78.

Chávez-Ramos, H. 1986. Bibliografía sobre peces del Golfo de California. *Invest.. Mar.* CICIMAR. 3(1):267.

Christensen, V., S. Lai y H. Townsend. 2009. Chesapeake Bay fisheries ecosystem model: computer-generated graphics for creating a gaming experience with ecosystem data and management. Ecopath 25 Years Conference Proceedings: Extended Abstracts:136.

Clarke, K.R. y R.M. Warwick. 1998. A taxonomic distinctness index and its statistical properties. *J. Appl. Ecol*.35: 523-531.

Clarke, K.R. y R.M. Warwick. 2001. Change in Marine Communities: an Approach to Statistical Analysis and Interpretation, 2nd edition. PRIMER-E: Plymouth, United Kingdom. 165 pp.

Cury P., L. Shannon y .J. Shin. 2003. The functioning of marine ecosystems: a fisheries perspective. FAO, Rome and Cabi publishin, Wallingford, UK.103-123.

Cohen, J.E. 1977. Food webs and the dimensionality of trophic niche space. *Proc. Natl. Acad. Sci*. *USA*. 74(10):4536-6.

Cohen, J.E. 1978. Food webs and niche space. Princeton University Press, Princeton. New Jersey, 189 pp.

Cohen, J.E. 1989. Food webs and community structure. Princeton University Press, Princeton, New Jersey. 181-202 pp.

Coll M., A. Bundy y L. J. Shannon. 2009. Ecosystem modeling using Ecopath with Ecosim approach. En: B. Megrey y E. Moksness (eds.). *Compt. Fish*. Springer, New York, 2: 225-291.

Cruz-Escalona, V.H., L. Campos-Dávila., L.A. Abitia-Cárdenas., M.J. Zetina-Rejón. 2010. Repartición de recursos alimentarios entre la ictiofauna dominante de una laguna templada de Baja California Sur, México. *Oceánides*, 25 (1): 1-15.

Compagno, L.J.V. 1984. Species Catalogue. Sharks of the world. An annotated and illustrated catalogue of sharks species know to date. Part. 2. Carcharhiniformes. FAO. *Fish.Synop*. 4(125): 251-655.

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2000. Programa de Manejo Área de Protección de Flora y Fauna: Islas del Golfo de California, México, D. F. 257 pp.

Del Moral-Flores, L.F., A.F. González-Acosta, H. Espinosa-Pérez, G. Ruiz-Campos, y J.L. Castro-Aguirre. 2013. Annotated checklist of the ichthyofauna from the islands of the Gulf of California, with comments on its zoogeographic affinities. *Rev. Mex. Biodiver*. 84: 184-214.

Desrochers, R. E. y M. Anand. 2004. From traditional diversity índices to taxonomic diversity indices. *Int. J. Ecol. Environ. Sci*. New Delhi. 30: 85-92.

Dézerald, O., C.Leroy, B. Corbara, J.F. Carrias y L. Pélozuelo. 2013. Food-Web Structure in Relation to Environmental Gradients and Predator-Prey Ratios in Tank-Bromeliad Ecosystems. *PLoS ONE* 8(8): e71735. doi:10.1371/journal.pone.0071735.

Diehl, S., 1992. Fish predation and benthic community structure: the role of omnivory and habitat complexity. *Ecology* 73, 1646–1661.

Diehl, S., 1993. Relative consumer sizes and the strengths of direct and indirect interactions in omnivorous feeding relationships. *Oikos*. 68: 151–157.

Dunne, J.A., R.J. Williams y N.D. Martinez. 2002. Network structure and biodiversity loss in food webs: robustness increases with connectance. *Ecol. Lett*., 5: 558-567.

Dunne, J.A., R.J. Williams y N.D. Martinez. 2004. Network structure and robustness of marine food webs. *Mar. Ecol. Progr. Ser*. 273: 291-302.

Dunne, J.A. y R.J. Williams. 2009. Cascading extinctions and community collapse in model food webs. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 364: 1711-1723.

Eschmeyer, W.N., R. Fricke., J.D. Fong. y D.A. Polack. 2010. Marine fish diversity: history of knowledge and discovery (Pisces). *Zootaxa* 2525:19-50.

Ferretti, F., B. Worm, G.L. Britten, M.R. Heithaus y H.K. Lotze. 2010. Patterns and ecosystem consequences of shark declines in the ocean. *Ecol. Letters.* 13(8): 1055-1071.

Fischer, W., E. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K.E. Carpenter y V.H. Niem. 1995. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca Pacífico centro-oriental. Volúmenes II y III. Vertebrados-Partes 1 y 2. FAO, Roma. 647-1813.

Frederiksen, M., M. Edwards, A.J. Richardson, N.C. Halliday y S. Wanless. 2006. From plankton to top depredators: bottom-up control of a marine food web across four trophic levels. *J. Anim. Ecol.* 75: 1259-1268.

Gaviño, G. 1979. *Expedición biológica "Anepantla-González Ortega" a Islas del Golfo de California, México*. Resultados preliminares. Reporte técnico. Universidad Nacional Autónoma de México. 56 pp.

Gaichas, S.K. y R.C. Francis. 2008. Network models for ecosystem-based fishery analysis: a review of concepts and application to the Gulf of Alaska marine food web. *Can. J. Fish. Aquat. Sci*., 65: 1965-1982.

Galván-Magaña, F., L. A. Abitia-Cárdenas, J. Rodríguez-Romero, H. Pérez-España y H. Chávez-Ramos. 1996. Lista sistemática de los peces de la Isla Cerralvo, Baja California Sur, México. *Cien. Mar.* 22:295-311.

Galván-Piña, V.H., F. Galvan-Magaña, L.A. Abitia-Cardenas, F.J. Gutierrez-Sanchez y J. Rodriguez-Romero. 2003. Seasonal structure of fish assemblages in rocky and sandy habitats in Bahía de La Paz, Mexico. *Bull. Mar. Sci.* 72(1): 19–35.

Goedkoop, W. y R. K. Johnson. 1996. Pelagic–benthic coupling: profundal benthic community response to spring diatom deposition in mesotrophic Lake Erken. *Limnol. Oceanogr.* 41(4): 636–647.

Gratwicke, B. y M.R. Speight. 2005. The relationship between fish species richness, abundance and habitat complexity in a range of shallow tropical marine habitats. *J. Fish Biol*., 66: 650-667.

Grebmeier, J.M., C. P. McRoy y H. M. Feder. 1988. Pelagic-benthic coupling on the shelf of the northern Bering and Chukchi seas. I. food supply source and benthic biomass. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 48: 57-67.

Gulland, J.A. 1983. *Fish stock assesment*. FAO/Wiley series on food and agriculture, Londres, Inglaterra.

Hastings, P..A. 2000. Biogeography of the Tropical Eastern Pacific: Distribution and phylogeny of chaenopsid fishes. Zoological Journal of the Linnean Society 128 (3): 319–335. DOI: 10.1006/zjls.1998.0196.

Hastings P.A., L.T. Findley, A.M. Van der Heiden. 2010. Fishes of the Gulf of California. 96–118 pp. En: Brusca R. (ed.) The Gulf of California. Biodiversity and Conservation. University Arizona Press, Tucson, AZ, USA.

Hall, S.J., S.P., Greenstreet. 1998. Taxonomic distinctness and diversity measures: responses in marine fish communities. *Mar. Ecol. Prog. Ser* .166:227-229.

Hernández, I., C. Aguilar y G. González-Sansón. 2008. Tramas tróficas de peces de arrecifes en la región noroccidental de Cuba. *Rev. Biol. Trop.* 56 (3): 1391-1401.

Hobson E. S. 1968. Predatory behavior of some shore fishes in the Gulf of California. Research report. Departament of Interior, Fish and Wildlife Service. E.U.A. 92 pp.

Horn, M.H. y L.G. Allen. 1985. Fish community ecology in Southern Californias bays and estuaries. 169-190 pp. En: Yañez-Arancibia (eds). Fish community ecology in estuarines and coastal lagoons: Toward ecosystem integration. UNAM. México. 654 pp.

Hunter, M.D., Price, P.W., 1992. Playing chutes and ladders: heterogeneity and the relative roles of bottom-up and top-down forces in natural communities. Ecology 73, 724–732.

Jennings, S. y M.J. Kaiser. 1998. The effects of fishing on marine ecosystems. *Adv. Mar. Biol*. 34: 201–350.

Jiménez-Gutiérrez, S. A. 1999. *Abundancia y estructura comunitaria de peces de arrecife rocoso en la zona de Isla Cerralvo, B.C.S., México.* Tesis de Maestría, CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. 91 pp.

Jordán F. 2001. Trophic fields. Community Ecol, 2: 181–185.

Jordán, F. y I. Scheuring. 2004. Network ecology: topological constraints on ecosystem dynamics. *Phys. Rev.* 1: 139-172.

Jordán F, W. Liu y A. J. Davis. 2006. Topological keystone species: measures of positional importance in food webs. *Oikos*, 112: 535-546.

Jordán, F., W. Liu y Á. Mike. 2009. Trophic Field Overlap: a New Approach to Quantify Keystone Species. *Ecol. Model.* 220(21): 2899- 2907 pp.

Jordán F, T.H Okey, B. Bauer y S. Libralato. 2008. Identifying important species: linking structure and function in ecological networks. *Ecol. Model*. 216: 75-80.

Jordano, P., J. Bascompte y J. M. Olesen. 2003. Invariant properties in coevolutionary networks of plant–animal interactions. *Ecol. Lett.* 6:69–81.

Jordano, P., D. Vázquez y J. Bascompte. 2009. Redes complejas de interacciones planta-animal.En: Medel, R., Aizen, M., Zamora, R.(eds). *Ecología y evolución de las interacciones planta-animal: conceptos y aplicaciones*. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 17-41pp.

Kessler, W.S. 2006. The circulation of the Eastern tropical Pacific. *Prog. Oceanogr.* 69: 181-217.

Krebs, C. J. 2003. Estudio de la distribución y la abundancia. Ecología.2da. Edic. Oxford University Press, México. 753 pp.

Lagler, F.K., J. E. Bardach, R. R. Miller y D. R. Passino. 1984.*Ictiología*. Editorial AGT S.A., México.

Lawler, S.P., Morin, P.J., 1993. Food web architecture and population dynamics in laboratory microcosms of protists. *Am. Natur*. 141, 675–686.

Lavín,M. F., R. Castro, E. Beier y V.M. Godínez. 2013. Mesoscale eddies in the southern Gulf of California during summer: Characteristics and interaction with the wind stress, *J. Geophys. Res. Oceans*, 118, doi:10.1002/jgrc.20132.

Leonard, G.H., Levine, J.M., Schmidt, P.R., Bertness y M.D., 1998. Flow-driven variation in intertidal community structure in a Marine estuary. *Ecology.* 79, 1395–1411.

Leonard, G.H., P.J. Ewanchuk y M.D. Bertness. 1999. How recruitment, intraspecific interactions and predation control species borders in a tidal estuary. *Oecología* 118, 492–502.

Loya-Salinas, D.H. y A. Escofet. 1990. Aportaciones al cálculo del Índice de Valor Biológico (Sanders, 1960). *Cien. Mar.* 16 (2):97-115.

Lowe-McConnell, R.H. 1999. Estudos ecologicos de comunidades de peixes tropicais. *Edusp*, Sao Paulo, 535 pp.

Ludwings, J.A. y J.F. Reynolds. 1988. Statistical ecology. John Wiley and Sons. New York, 337 pp.

Malpica-Maury, O. M. 1999.*Ictiofauna de la Ensenada de La Paz, B.C.S. México*. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. 63 pp.

May, R. 1972. Will a large complex system be stable? *Nature.* 238:413-414.

Magurran, A.E. 1988. Ecology diversity and its measurement. Princeton, New Jersey., 167 pp.

Martinez, N.D. 1992. Constant connectance in community food webs. *Am. Nat*. 139:1208–1218.

Mathew, S. 2001. Small-scale fisheries perspectives on an ecosystem-based approach to fisheries management. Reykjavik Conference on Responsible Fisheries in the Marine Ecosystem. Reykjavik, Iceland, 1-4 October 2001. [Available in http://www.refisheries2001.org].

Menge, B.A., 1976. Organization of the New England rocky intertidal community: role of predation, competition and environmental heterogeneity. *Ecol. Monogr*. 46: 355–393.

Menge, B.A., 1992. Community regulation: under what conditions are bottom-up factors important on rocky shores? *Ecology*. 73: 755–765.

Menge, B. 1995. Indirect effects in marine rocky intertidal interaction webs: patterns and importance. *Ecol. Monogr.* 65(1): 21-74.

Menge, B.A., Daley, B.A., Lubchenco, J., Sanford, E., Dahlhoff, E., Halpin, P.M., Hudson, G., Burnaford, J.L., 1999. Top-down and bottom-up regulation of New Zealand rocky intertidal communities. *Ecol. Monogr.* 69:297–330.

Menge, B.A. 2000. Top-down and bottom-up community regulation in marine rocky intertidal habitats*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 250: 257-289.

Molina-Hernández, F. 2011. *Estructura trófica de la zona costera de Alvarado, Veracruz, y su relación con la riqueza de trofoespecies*. Tesis de Licenciatura. UMAR. Puerto Ángel, Oaxaca. 90 pp.

Montoya-Campos, M. 2009. Cambios en la composición especifica de la captura artesanal de escama al sur de isla San José B.C.S. México. Tesis de Maestría en Ciencias. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. 101 pp.

Montoya, J.M. y R.V. Solé. 2002. Small world patterns in food webs. *J. Theor. Biol*. 214: 405-412.

Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M y T-Manuales y Tesis SEA. Vol. 1. Zaragoza, 84 pp.

Moreno-Sánchez, X.G. 2009. *Estructura y organización trófica, de la ictiofauna del arrecife de Los Frailes, B.C.S. México.* Tesis de Doctorado en Ciencias Marinas. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. 143 pp.

Morin, P.J y S.P.Lawler, 1996. Effects of food chain length and omnivory on population dynamics in experimental food webs. En: Polis, G.A., Winemiller, K.O. (Eds.), Food Webs: Integration of Patterns and Dynamics. Chapman y Hall, New York,218–230 pp.

Murakami, M., T. Hirao y A. Kasei. 2008. Effects of habitat configuration on hot-parasitoid food web structure. *Ecol. Res*. 23: 1039-1049.

Myers, R.A y B. Worm. 2003. Rapid worldwide depletion of predatory fish communities. Nature 423: 280-283.

Myers, R., J.K. Baum, T.D. Shepherd, S.P. Powers y C.H. Peterson. 2007. Cascading effects of the loss of apex predatory sharks form a coastal ocean. *Science*, 315: 1846-1850.

Naeem, S. 1998. Species redundancy and ecosystem reliability. *Conser. Biol.* 12: 39–45.

Naumann, M. S., A. F. Haas, C. Jantzen, R.I. Prieto y C. Wild. 2012. Benthic-pelagic coupling in a Caribbean reef lagoon affected by hurricane “Dolly”. Proceedings of the 12th International Coral Reef Symposium, Cairns, Australia, 12.

Nagelkerken, I., G. Van der Velde, M. Gorissen, G. Meijer, T. Van't Hof y C. Den Hartog. 2000. Importance of Mangroves, Seagrass Beds and the hollow coral reef as a Nursery for Important Coral Reef Fishes, Using a Visual Census Technique. *Estuar. Coast. Shelf Sci*. 51: 31-44.

Navia-López, A.F. 2009. Hábitos alimentarios, relaciones tróficas e importancia ecológica de *Urotrygon rogersi* (Elasmobranchii :Batoidea) en la zona central del Océano Pacífico Colombiano. Tesis de Maestría en Ciencias Biología. Santiago de Cali, Colombia. 115 pp.

Navia-López, A.F. 2013. *Función ecológica de tiburones y rayas en un ecosistema costero tropical del Pacífico colombiano*. Tesis de doctorado en Ciencias Marinas. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. 172 pp.

Navia-López, A.F, E. Cortés y P.A, Mejía-Falla. 2010. Topological analysis of the ecological importance of elasmobranch fishes: A food web study on the Gulf of Tortugas, Colombia. *Ecol. Model*. 221: 2918–2926.

Navia, A.F., E. Cortés, F. Jordán, V.H. Cruz-Escalona y P.A. Mejía-Falla. 2012. Changes to marine trophic networks caused by fishing, 417-452. En: Mahamane, A. (Ed.) Diversity of Ecosystems. Intech, Croatia.

Nelson, J. S. 2006. Fishes of the world. 4a ed. New Jersey: John Wiley. 601 pp.

Newman, M.E.J. 2003. Ego-centered networks and the ripple effect, *Soc. Networks*. 25:83-95.

Nikolsky, G. 1963. The Ecology of Fishes. Academy, Nueva York 352 pp.

Odum, H.T. 1972. Use of energy diagrams for environmental impact statements. In Tools for Coastal Management. Proceedings of the conference Feb. 14-15, 1972, Marine Technology Society, 1730 M St. NW, Wash. DC. pp. 197-213.

Paine, R. T. 1980. Food webs: Linkage, interaction strength and community infrastructure. *J. Anim. Ecol*. 49: 667-685.

Palacios-Salgado, D.S. 2005. *Asociaciones de peces en los arrecifes rocosos de la Bahía de Acapulco, Guerrero, México*. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. 109pp.

Palacios-Salgado, D.S.,X.G., Moreno-Sánchez, L.A., Abitia-Cárdenas, F.J., Gutierrez-Sánchez y J., Romero-Rodríguez. 2012. Icthiodiversity of San Jose,

San Francisquito and El Pardito islands in the southwestern Gulf of California, México. *Act. Ichthyol. Piscat*. 42 (3):177-191.

Palacios-Salgado, D.S. 2010. *Patrones latitudinales de composición y diversidad funcional de peces asociados a la pesca de camarón del Pacífico mexicano*. Tesis de doctorado en Ciencias Marinas. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. 168 pp.

Pauly, D. 1984. *Fish population dynamics in tropical waters: a manual for use with programmable calculators*. ICLARM Studies and Reviews, Manila, 8, 325 pp.

Pauly, D., V. Christensen, J. Dalsgaard, R. Froese y F. Torres. 1998. Fishing down marine food webs. *Science*, 279: 197-212.

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 sur-oeste del Golfo de California, México. *Cienc. Mar*. 22(3):273-294.

Persson, L., G. Andersson, S.F Hamrin y L. Johansson. 1988. Predator regulation and primary production along the productivity gradient of temperate lake ecosystems. En: Carpenter, S.R. (Ed.), Complex Interactions in Lake Communities. Springer-Verlag, New York, 45–68.

Pielou, E.C., 1975. Ecological diversity. J. Wiley Y Sons, New York, N. Y. 286 pp.

Pimm, S. L. 2000. Food webs. The University of Chicago Press. London. 219 pp.

Plaganyi E.E y D.S. Butterworth.2004. A critical look at the potential of Ecopath with Ecosim to assistin practical fisheries management. *Afr. J. Mar. Sci.* 26:261–288.

Polovina, J.J. 1984. Model of a coral reef ecosystem. The Ecopath model and its application to French Frigate Shoals. *Coral Reefs*. 3(1): 1-11.

Power, M.E. 1992. Top−down and bottom−up forces in food−webs: do plants have primacy? *Ecology* 73: 733–746.

Proulx, S.R., D.E. Promislow y P.C. Phillips. 2005. Network thinking in ecology and evolution. Trends in Ecology and Evolution 20: 345-353.

Richards, W. J. y K. C. Lindeman. 1987. Recruitment dynamics of reef fishes; planktonic processes, settlement and demersal ecologies and fishery analysis.*Bull. Mar. Sci.* 41(2):392-410.

Reyes-Bonilla, H. y L. Álvarez-Filip. 2008. Long-term changes in taxonomic distinctness and trophic structure of reef fishes at Cabo Pulmo reef, Gulf of California. Proceedings of the 11th International coral reef symposium, Ft. Lauderadale, Florida, 7–11 July, Session number 18.

Robertson D.R. y G.R Allen. 2008. Peces costeros del Pacifico oriental tropical online Informacion system. Version 1.0. Smithsonian Tropical Research Institute, Balboa, Panama. www.neotropicalfishes.org/sftep.

Rodriguez-Romero, J., L.A. Abitia-Cárdenas, F. Galván-Magaña y R.H. Chávez. 1994. Composición, abundancia y riqueza especifica de la ictiofauna de Bahía Concepción, Baja California Sur, México. *Cienc. Mar*. 20: 321-350.

Rodríguez-Romero J, Muhlia-Melo A. F, Galván-Magaña F., Gutiérrez-Sánchez F. J., Gracia-López V. 2005. Fish assemblages around Espíritu Santo Island and Espíritu Santo Seamount in the lower Gulf of California, México. *Bull. Mar. Sci*. 64:383–390.

Rodríguez-Romero J., X. G. Moreno-Sánchez., L. A. Abitia-Cárdenas., D. S. Palacios-Salgado. 2009. Trophic spectrum of the juvenile rooterfish, *Nematistiius pectoralis* Gill, 1962 (Perciformes: Nematistiidae), in Almejas Bay, Baja California Sur, México. *Rev. Biol. Mar. Oceanograf*. 44 (3): 803-807.

Rodríguez-Romero J., X. G. Moreno-Sánchez., L. A. Abitia-Cárdenas., D. S. Palacios-Salgado. 2009. General characteristics of diet of the raucous grunt, *Haemulopsis leuciscus* (Perciformes: Haemulidae), in Bahía Almejas, Baja California Sur, Mexico. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* Vol. 2: 1-4. doi:10.1017/S1755267209990595.

Ruiter, P.C., V. Wolters, J.C Moore y K.O Winemiller. 2005 Food web ecology: playing Jenga and beyond.*Science* 309, 68–71. (doi:10.1126/science.1096112).

Sabatino, M., Maceira, N., Aizen, M. A. 2010. Direct effects of hábitat área on interaction diversity in pollination webs. *Ecology.* 20: 1491-1497.

Sala, E., O. Aburto-Oropeza, M. Reza, G. Paredes y L.G. López-Lemus. 2004. Fishing down coastal food webs in the Gulf of California. *Fisheries*, 29: 19-25.

Sale, P. F. 1991. *Ecol. Fish. Coral Reefs.* Academic Press. 754 p.

Saldívar-Lucio, R. E. 2010. *Cambios a largo plazo en la ictiofauna arrecifal del parque nacional Cabo Pulmo, B.C.S., México*. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz B.C.S. 146p.

Sánchez-Ortíz, C.; J. L. Arreola-Robles; O. Aburto Oropeza y M. Cortés-Hernández. 1997. Peces de arrecife en la región de La Paz, B.C.S, 177-188. *En*: Urbán-Ramírez, J. & Ramírez-Rodríguez, M. (Eds). *La Bahía de La Paz, investigación y conservación*. UABCS, CICIMAR y Scripps. La Paz., B. C. S., 345 p.

Sanders, H. L. 1960. Benthic studies in Buzzard Bay III. The structure of soft-bottom community. *Limnol. Oceanogr.* 5:138-153.

Scheffer M., S. Carpenter y B. Young. 2005. Cascading effects of overfishing marine systems. *Ecol. Evol.* 20: 579-581.

Schindler D. E. y M. D. Scheuerell. 2002. Habitat coupling in lake ecosystems.*Oikos 98:*177–189.

Shannon C E, Weaver W. 1949. The Mathematical Theory of Communication. Urbana: University of Illinois Press. 117 pp.

Stephenson, T.A., Stephenson, A., 1972. Life between tidemarks on rocky shores. W.H. Freeman, San Francisco, CA. 425 pp.

Strogatz, S. H. 2001. Exploring complex networks. *Nature* 410: 268-276.

Solé, R. y J.M. Montoya. 2001. Complexity and fragility in ecological network. *Proc. R. Soc. Lond. B.*, 268: 2039-2045.

Sosa-López A, Ramos-Miranda J, Flores-Hernández D, Mouillot D, Do-Chi T (2005) Evidencia de Cambios en la Diversidad Ictiofaunística de la Laguna de Términos, México. *Jaina* 15:7–13.

Thomson, D. A., & M. Gilligan. 1983. The rocky-shores fishes, 98-129. *In*: Case, T. J. y M. L. Cody (eds.). *Island Biogeography in the Sea of Cortez.* University of California Press, Berkeley. 234 pp.

Thomson D.A., Gilligan M. 2002. Rocky-shore fishes. Pp.154–180. *En*: Case T.J., Cody M.L., Ezcurra E. (eds.) A new island biogeography in the Sea of Cortes. Oxford University Press, Oxford, UK.

Thomson, D. A., L. T. Findley y A. N. Kerstich. 2000. Reef fishes of Sea of Cortez. University of Texas Press. Revised edition.353 pp.

Torres-Orozco, R. 1994. Los peces. 269-304. En: De la Lanza-Espino, G. y C. Cazares-Martínez (Eds). lagunas Costeras y el litoral mexicano. UABCS, México, 525 pp.

Tylianakis, J.M., E. Laliberté, A. Nielsen y J. Bascompte. 2010. Conservation of species interaction networks. *Biol. Conserv*. 143: 2270-2279.

Uscanga-Aguilar, S. 2002. *Caracterización de la comunidad íctica capturada con red agallera en Isla San José, B.C.S., México.* Tesis de Licenciatura. UABCS. La Paz, B. C. S., México. 69 pp.

Van Wynsberge S, S. Andréfouët, M.A Hamel y M. Kulbicki. 2012. Habitats as Surrogates of Taxonomic and Functional Fish Assemblages in Coral Reef Ecosystems: A Critical Analysis of Factors Driving Effectiveness. *PLoS ONE* 7(7): e40997. doi:10.1371/journal.pone.0040997.

Villarreal, A., H. Reyes, B. Bermúdez y O. Arizpe. 2000. Los peces del arrecife de Cabo Pulmo, Golfo de California, México: Lista sistemática y aspectos de abundancia y biogeografía. *Rev. Biol. Trop*. 48(2/3):413-424.

Villegas-Sánchez, C.A., L.A. Abitia-Cárdenas, F.J. Gutiérrez-Sánchez y F.G. Galván-Magaña. 2009. Rocky-reef fish assemblages at San José Island, Mexico. *Rev. Mex. Biodivers*. 80: 169- 179.

Walker, B. W. 1960. The distribution and affinities of the marine fish fauna of the Gulf of California. Syst. *Zool.* 9(3-4):123-133.

Warwick, R.M y K.R. Clarke. 1995. New biodiversity measure reveals a decrease in taxonomic distincness with increasing stress. *Mar. Ecol. Prog. Ser*. 129:301-305.

Wassermann, S y K. Faust. 1994. *Social networks analysis*. Cambridge University Press, Cambridge, 825 pp.

Wells, RJD y J.R. Rooker. 2009. Feeding ecology of pelagic fish larvae and juveniles in slope waters of the Gulf of Mexico.*J. Fish Biol.*75:1719-1732.

Wetherbee, B.M. y E. Cortés. 2004. Food consumption and feeding habits, 223-244. En: Carrier, J.F., J.A. Musick y M. Heithaus. (Eds.) *Biology of sharks and their relatives*. CRC press, USA, 596 pp.

Williams, R.J., E.L Berlow, J.A. Dunne, A.L. Barabási y N.D. Martínez. 2002. Two degrees of separation in complex food webs. *Proc. Nat. Acad. Sci*. U.S.A., 99: 12913-12916.

Worm, B., E.B. Barbier, N. Beaumont, J.E. Duffy, C. Folke, B.S. Halpern, *et al*. 2006. Impacts on biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science*, 314: 787–790.

Xinjuan, S., J. Xianshi., Y. Wei. 2010. Taxonomic diversity of fish assemblages in the Changjiang Estuary and its adjacent waters. *Acta. Oceanol. Sin*. 29 (2): 70-80.

Xochihua-Simón, M.A. 2009. Comparación del nivel trófico de especies de peces con valor comercial en la Laguna de Alvarado Veracruz. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. 85 pp.

Yemane, D., J. Field, G. Leslie y W. Rob. 2005. Exploring the effects of fishing on fish assemblages using Abundance Biomass Comparison (ABC) curves. *ICES J. Mar. Sci*., 62: 374-379.

11. ANEXOS

Anexo 1. Lista sistemática de la ictiofauna de Isla San José (ISJ), Baja California Sur, México.

Clase Chondricththyes
Familia Triakidae
Mustelus lunulatus (Jordan y Gilbert, 1882)
Familia Carcharinidae
Carcharhinus falciformis (Müller y Henle, 1839)
Carcharhinus limbatus (Müller y Henle, 1839)
Clase Actinopterygii
Familia Elopidae
Elops affinis (Regan, 1909)
Familia Muraenidae
Gymnothorax castaneus (Jordan y Gilbert, 1883)
Familia Albulidae
Albula affi. esungula (Garman, 1899)
Familia Clupeidae
Harengula thrissina (Jordan y Gilbert, 1882)
Familia Chanidae
Chanos chanos (Forsskål, 1775)
Familia Ariidae
Occidentarius platypogon (Günther, 1864)
Familia Holocentridae
Myripristis leiognathus (Valenciennes, 1846)
Sargocentron suborbitalis (Gill, 1863)
Familia Mugilidae
Mugil cephalus (Linnaeus, 1758)
Familia Fistulariidae
Fistularia commersonii (Rüppell, 1838)
Familia Belonidae
Ablennes hians (Valenciennes, 1846)
Tylosurus pacificus (Steindachner, 1876)
Familia Exocoetidae
Cypselurus callopterus (Günther, 1866)
Familia Hemiramphidae
Hemiramphus saltator (Gilbert y Starks, 1904)
Familia Nematistiidae
Nematistius pectoralis (Gill, 1862)
Familia Carangidae
Caranx caballus (Günther, 1868)
Caranx caninus (Günther, 1867)

Continuación Anexo 1

Caranx sexfasciatus (Quoy y Gaimard, 1825)
Decapterus macarellus (Cuvier, 1833)
Selene brevoortii (Gill, 1863)
Trachinotus rhodopus (Gill, 1863)
Familia Scaridae
Nicholsina denticulata (Evermann y Radcliffe, 1917)
Scarus compressus (Osburn y Nichols, 1916)
Scarus ghobban (Forsskål, 1775)
Scarus rubroviolaceus (Bleeker, 1847)
Familia Pomacentridae
Abudefduf troschelii (Gill, 1862)
Familia Lutjanidae
Lutjanus aratus (Günther, 1864)
Lutjanus argentiventris (Peters, 1869)
Lutjanus guttatus (Steindachner, 1869)
Lutjanus novemfasciatus (Gill, 1862)
Hoplopagrus guentherii (Gill, 1862)
Familia Gerreidae
Eucinostomus dowii (Gill, 1863)
Familia Haemulidae
Anisotremus interruptus (Gill, 1861)
Haemulon flaviguttatum (Gill, 1862)
Haemulon maculicauda (Gill, 1862)
Haemulon scudderii (Gill, 1862)
Haemulon sexfasciatum (Gill, 1862)
Haemulon steindachneri (Jordan y Gilbert, 1882)
Microlepidotus inornatus (Gill, 1862)
*Pomadasys panamensis (*Steindachner, 1876)
Orthopristis cantharinus (Jenyns, 1840)
Familia Mullidae
Mulloidichthys dentatus (Gill, 1862)
Familia Kyphosidae
Kyphosus analogus (Gill, 1862)
Kyphosus elegans (Peters, 1869)
Familia Sphyraenidae
Sphyraena lucasana (Gill, 1863)
Familia Scombridae
Auxis rochei rochei (Risso, 1810)
Auxis thazard thazard (Lacepède 1800)
Euthynnus lineatus (Kishinouye, 1920)
Scomber japonicus (Houttuyn, 1782)
Scomberomorus sierra (Jordan y Starks, 1895)
Familia Scorpaenidae
Scorpaena histrio (Jenyns, 1840)

Continuación Anexo 1

Scorpaena mystes (Jordan y Starks, 1895)
Familia Serranidae
Alphestes immaculatus (Breder, 1936)
Alphestes multiguttatus (Günther, 1867)
Mycteroperca rosacea (Streets, 1877)
Paralabrax clathratus (Girard, 1854)
Paranthias colonus (Valenciennes, 1846)
Familia Balistidae
Balistes polylepis (Steindachner, 1876)
Familia Diodontidae
Diodon holocanthus (Linnaeus, 1758)

Anexo 2. Lista de bibliografía especializada para construir la red trófica de Isla San José, B.C.S. México.

Abitia-Cárdenas, L. A., X. G. Moreno-Sánchez., D. S. Palacios-Salgado y O. Escobar-Sánchez. 2011. Feeding habits of the convict surgeonfish *Acanthurus triostegus* (Teleostei: Acanthuridae) on the Los Frailes reef, Baja California Sur, Mexico. *Aqua*. 17 (2): 103-108.

Amezcua F. y A. Portillo. 2010. Hábitos alimenticios del lenguado panámico *Cyclopsetta panamensis* (Palalichthyidae) en el Sureste del Golfo de California. *Rev. Biol. Mar. Ocean.* 45(2): 335-340.

Andrade-González, Z.S. 2005. *Hábitos alimenticios del tiburón piloto Carcharhinus falciformis en el Océano pacífico oriental.* Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. 121pp.

Alatorre-Ramírez, V. G. 2007. *Hábitos alimenticios del atún aleta amarilla Thunnus albacares y barrilete Katsuwonus pelamis en cardúmenes mixtos del Océano pacífico oriental tropical*. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. 86 pp.

Aguilar-Palomino, B. y González-Sansón G. 2010. Composición y superposición de dietas de cuatro especies de *Diplectrum* (Perciformes:Serranidae) en el Pacífico central mexicano. *Rev. Biol. Trop.* 58(4): 1189-1198.

Bermúdez-Almada B.R. y García-Luna G. 1985. *Hábitos alimenticios de los peces de zonas rocosas de la Bahía de La Paz, B.C.S.* Tesis de Licenciatura. UNAM. 259 pp.

Bocanegra-Castillo, N. 1998. *Interacciones tróficas de la ictiofauna más abundante en la Laguna Ojo de Liebre, Baja California Sur, México*. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. 70 pp.

Bolaño-Martínez, N. 2009. Ecología trófica de juveniles del tiburón martillo *Sphyrna zygaena* (Linnaeus, 1785) en aguas Ecuatorianas. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. 176 pp.

Cabrera-Chávez-Costa, A.A., F. Galván-Magaña y O. Escobar-Sánchez. 2010. Food habits of the silky shark *Carcharhinus falciformis* (Müller y Henle, 1839) off the western coast of Baja California Sur, México. *J. Appl. Icthyol.* 26: 499-503.

Chávez-Comparán, J.C. y M.G. Hammann.1989. Dieta de las mojarras *Gerres cinereus* y *Diapterus peruvianus* (Pisces:Gerreidae) en la Laguna de Cuyutlán , Colima, México. Durante el verano. *Cien. Mar.* 15(3): 71-89.

Collete, B. y C.R. Aadland.1996. Revision of the frigate tunas (Scombridae, *Auxis*), with descriptionsof two new subespecies from the eastern Pacific. *Fish. Bull*. 94: 423-441.

Chávez-Herrera, D. 1993. Aspectos biológicos de *Mugil curema* (Cuvier Valenciennes), *Mugil cephalus* (Linneo) y *Mugilhospes* (Jordan y Culver) en lagunas costeras al sur de Sinaloa. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. 85 pp.

Chiappa-Carrara, X. y M. Gallardo-Cabello.1993. Estudio del régimen y hábitos alimentarios de la anchoveta *Engraulis mordax* Girard (Pisces: Engraulidae), en Baja California Sur, México. *Cien. Mar.* 19(3): 285-305.

Cruz-Escalona, V.H. 1998. *Análisis trófico de la ictiofauna de la Laguna San Ignacio, B.C.S*. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. 128pp.

Cruz-Escalona, V.H., L.A. Abitia-Cárdenas, L. Campos-Dávila y F. Galván-Magaña. 2000. Trophic interrelations of the three most abundant fish species from Laguna San Ignacio, Baja California Sur, México. *Bull. Mar. Sci.* 66(2): 361-373.

Cruz-Escalona, V.H. y L.A. Abitia-Cárdenas. 2004. General characteristics of the diet of *Trachinotus paitensis* (Teleostei:Carangidae) from San Ignacio Lagoon, Baja California Sur, México. *Rev. Biol. Trop.* 52(1): 139-141.

Cruz-Escalona, V.H., R.N. Águila-Ramírez y L.A. Abitia-Cárdenas. 2009. Food of *Kyphosus elegans* (Perciformes: Khyposidae) in Loreto, Baja California Sur, México. *CICIMAR Oceánides*, 24(1): 55-58.

Cruz-Escalona, V. H., L. Campos-Dávila, L. A. Abitia-Cárdenas y M. J. Zetina-Rejón. 2010. Repartición de recursos alimentarios entre la ictiofauna dominante de una laguna templada de Baja California Sur, México. *CICIMAR Oceánides*, 25(1): 1-15.

Díaz-Díaz, M. E. y M. Gregory-Hammann. 1987. Relaciones tróficas de los peces asociados a un manto de *Macrocystis pyrifera* en la Bahía de Todos Santos, Baja California Sur, México. *Cien. Mar.* 13(4): 81-96.

De León González, J.A. 1994. Poliquetos (Annelida: Polychaeta) de la plataforma continental de la costa oeste de Baja California Sur, México: taxonomía, hábitos alimenticios y distribución. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN La Paz, B.C.S.177 pp.

Flores-Ortega, J.R., E. Godínez-Domínguez, J.A. Rojo-Vázquez, A. Corgos, V. H. Galván-Piña y G. González-Sansón. 2010. Interacciones tróficas de las seis especies más abundantes en la pesquería artesanal en dos bahías del Pacifico Central Mexicano. *Rev. Biol. Trop.* 58(1): 383-397.

Holguin-Quiñones O. E., F. J. González-Medina., F. F Solís-Marín., E. F. Félix-Pico. 2008. Variación espacio-temporal de Scleractinia, Gorgonacea, Gastropoda, Bivalvia, Cephalopoda, Asteroidea, Echinoidea y Holothuroidea, de fondos someros de la isla San José, Golfo de California. *Rev. Biol. Trop*. 56(3): 1189-1199.

Markaida U. y O. Sosa-Nishizaki. 2003. Food and feeding habits of jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae) from the Gulf of California, México. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 83: 507-522.

Moreno-Sánchez, X.G., C. Quiñonez-Velázquez., L.A. Abitia-Cárdenas y J. Rodríguez-Romero. 2011. Diet of the Pacific sierra *Scomberomorus sierra* (Perciformes: Scombridae) in two areas of north-west México coast. *Aqua* 17 (4): 185-192.

Moreno-Sánchez, X.G., O. Escobar-Sánchez, L.A. Abitia-Cárdenas y V.H. Cruz-Escalona. 2012. Diet composition of the sicklefin smooth-hound shark *Mustelus lunulatus* caught off El Pardito Island, Baja California Sur, México. *Mar. Biodivers. Rec.* doi:10.1017/S1755267212000504.

Rodríguez Rojero. A. 2004. *Hábitos alimentarios de las jaibas Callinectes bellicosus Stimpson y C. arcuatus Ordway (Brachyura: Portunidae) en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México.* Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. 111 pp.

Santamaría-Miranda, A. 1998. *Hábitos alimenticios y ciclo reproductivo del huachinango,* Lutjanus peru*, (Nichols y Murphy, 1922) Pices: Lutjanidae en Guerrero, México*. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. 64 pp.

Saucedo-Lozano, M., G. González-Sansón y X. Chiappa-Carrara.1999. Alimentación natural de juveniles de *Lutjanus peru* (Nichols y Murphy, 1922) (Lutjanidae: Perciformes) en la costa de Jalisco y Colima, México. *Cien. Mar.* 25(3):381-400.

Saucedo-Lozano, M., A. R. Raymundo-Huizar y C. Valadez-González. 2006. Comparación de los hábitos alimenticios de *Lutjanus peru* y *Lutjanus guttatus* en la Costa de Jalisco y Colima, México. Capítulo de Libro: Los Recursos pesqueros y acuícolas de Jalisco, Colima y Michoacán. Instituto Nacional de la Pesca. SAGARPA. 209-218 pp.

Tripp-Valdéz, A., F. Arreguin-Sánchez y M. J. Zetina-Rejón. 2012. The food of *Selene peruviana* (Actinopterygii: Perciformes: Carangidae) in the Southern of Gulf of California. *Act. Ichthyol. Pisc.* 42(1): 1-7.

Vázquez, R.I., J.Rodríguez-Romero, L.A. Abitia-Cárdenas y F. Galván-Magaña. 2008. Food habits of the yellow snapper *Lutjanus argentiventris* (Peters, 1879) (Percoidei: Lutjanidae) in La Paz Bay, México. *Rev. Biol. Mar. Ocean.* 43(2): 295-302.