



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



ESTRUCTURA Y ORGANIZACIÓN DE LA ICTIOFAUNA  
DE FONDOS BLANDOS DEL SUR DE SINALOA:  
ANÁLISIS ECOLÓGICO Y TOPOLOGÍA DE TAXA

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTORADO EN CIENCIAS MARINAS

PRESENTA

JOSÉ TRINIDAD NIETO NAVARRO

LA PAZ, B.C.S., DICIEMBRE DE 2010

## **DEDICATORIA**

A Dios.

Por acompañarme en todo momento.

A mis padres.

Con cariño por el apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida.

A Delia mi amada esposa.

Por su amor, sacrificio, comprensión y apoyo en tiempos difíciles.

A mi hijo Norman.

Por ser uno de los regalos más valiosos que Dios me ha dado.

A todos ellos, gracias de corazón.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Autónoma de Nayarit, al Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) de la Secretaría de Educación Pública, a la unidad Académica Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico y administrativo que permitió mi estancia en La Paz, B.C.S. durante el Doctorado.

A las diferentes instancias del Instituto Politécnico Nacional (IPN), al programa institucional de formación de investigadores (PIFI) y al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR), que hicieron posible que este trabajo culminara satisfactoriamente.

A los proyectos que ayudaron mi trabajo de tesis "Impacto de la pesca de arrastre de camarón sobre los ecosistemas del Golfo de California: Manejo de pesquerías, salud del ecosistema y conservación de la biodiversidad" con clave CONACyT-SEMARNAT 2002-C01-123; "Comunidades de peces asociadas a los arrastres camaroneros como indicadores de degradación del ecosistema" con clave CONACyT-SAGARPA 2003-02-157; "Impacto de la pesca de arrastre de camarón sobre el ecosistema bentónico frente a las costas de Nayarit, México" con clave CONACyT-SAGARPA S0007-2005-1-12004, a los proyectos SIP-IPN 20090932, 20100900 y WWF-MEXICO KH88.

Al Dr. Manuel Zetina Rejón y al Dr. Francisco Arreguín Sánchez, por creer, dirigir y apoyar en todo momento mi proyecto de tesis, especialmente por su amistad y paciencia en momentos difíciles que se presentaron en los proyectos de investigación y en el peregrinar del Doctorado.

Al comité tutorial y revisor formato por Dr. Victor Gómez Muñoz, Dr. José De la Cruz Agüero y al Dr. Atahualpa Sosa López por su dedicación y acertadas sugerencias para el trabajo de tesis.

Al Dr. Ferenc Jordán de CoSbi (Centre for Computation and System Biology) de la Universidad de Trento, Italia, por su apoyo en el análisis topológico de redes.

A todos mis amigos y compañeros del laboratorio de Dinámica y Manejo de Ecosistemas Acuáticos y de la comunidad estudiantil de CICIMAR (Davis, Paúl, Marcial, Ivan, Armando, Enrique, Daniel, Juan Carlos, Arturo, Luís, Rebeca, Sheley, Jimena...), por los grandes momentos.

## NOTACIONES Y SÍMBOLOS COMUNES

$A_i$	Total de la abundancia numérica de cada muestra $i$ .
$a_{ij}$	Número de aristas en una matriz de adyacencia.
ABT	Abundancia o biomasa total de la muestra.
AR%	Abundancia relativa.
BC $i$	Índice de intermediación
$B_i$	Total de la biomasa de cada muestra $i$ .
CC $_i$	Índice de cercanía.
$c$	Constante de proporcionalidad.
D	índice de grado de conexión.
$d$	Distancia geodésica.
$dc$	Número de presas del depredador.
D $_{in}$	Índice de grado de conexión que sale de un nodo.
Dism.	Disimilitud
D $_{out}$	Índice de grado de conexión que entra a un nodo.
D $_{TN}$	Índice de diferenciación topológica.
$d_w$	Diferencia taxonómica ponderada.
Ec.	Ecuación.
$fe$	Número de depredadores de la presa.
$g_{jk}(i)$	Rutas cortas que pasan por el nodo $i$ .
$g_{jk}$	Total de rutas cortas existentes entre los nodos $j$ y $k$ .
H'	Diversidad.
H $_{max}$	Diversidad máxima esperada.
IVB%	Índice de Valor Biológico de Sanders en porcentaje.
J'	Equidad.
K	Número de conexiones o vecinos de un nodo.
K $_x$	Índice de especie clave K.
K $_b$	Efecto de abajo hacia arriba del índice de especie clave K.

$K_t$	Efecto de arriba hacia abajo del índice de especie clave K.
$K_{bc}$	Valor del efecto de abajo hacia arriba de una especie del índice de especie clave K en una red trófica.
$K_{te}$	Valor del efecto de arriba hacia abajo de una especie del índice de especie clave K en una red trófica.
$M_{tx}$	Matriz de adyacencia taxonómica.
$n$	Total de muestras a considerar.
$nc$	Número de depredadores de la especie $i$ .
$N$	Total de nodos en una red.
$N_t$	Total de taxones en un árbol taxonómico.
$m$	Número de presas de la especie $i$ .
OTU	Siglas en ingles de unidades taxonómicas operativas (Operational Taxonomic Units). Representa al grupo de individuos relacionados, los cuales pueden ser representados en un dendograma.
$Pu_{iq}$	Puntaje de la especies $i$ en el sitio de colecta $q$ .
$R$	Estadístico R.
$R^2$	Coefficiente de determinación.
$r$	Coefficiente de correlación.
$\bar{r}_b$	Promedio del rango de similitud derivado de los pares de réplicas entre diferentes sitios.
$\bar{r}_w$	Promedio de todos rangos de similitud obtenido entre las réplicas dentro de los sitios.
$S$	Número de especies.
$S_1$	Número de especies en la muestra 1.
$S_2$	Número de especies en la muestra 1.
Sim.	Similitud
$T$	Total de jerarquías taxonómicas.
$Tax$	Número de taxones en la jerarquía inmediata superior.
$T_i$ y $T_j$	Taxones de diferente categoría.
$w$	Estadístico de estrés.
$w_{ij}$	Distancia taxonómica entre las especies $i$ y $j$ .

- $y_{ij}$  Abundancia numérica transformada de la especie  $i^{\text{th}}$  en la muestra  $j^{\text{th}}$ .
- $x_i$  Abundancia o biomasa de la especie  $i$ .
- $\Delta^*$  Distinción taxonómica, estima el promedio de la distancia taxonómica en un árbol con base en la abundancia y la distancia taxonómica.
- $\Delta^+$  Distinción taxonómica promedio calculada con la presencia y ausencia de especies.
- $\Lambda^+$  Variación de la distinción taxonómica promedio con base en la presencia y ausencia de especies.
- $\Gamma^+$  Disimilitud gamma.
- $-\gamma$  Exponente de escala o pendiente del modelo potencial.

## ÍNDICE

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁG.</b>
LISTA DE FIGURAS. ....	viii
LISTA DE TABLAS. ....	xiii
LISTA DE ANEXOS. ....	xiv
<b>RESUMEN.</b> ....	xvi
<b>1. INTRODUCCIÓN.</b> ....	1
<b>2. ANTECEDENTES.</b> ....	4
<b>3. JUSTIFICACIÓN.</b> ....	7
<b>5. OBJETIVO.</b> ....	9
<b>6. MATERIALES Y MÉTODOS.</b> ....	10
6.1. Área de estudio. ....	10
6.2. Origen de los datos. ....	11
6.3. Análisis de la estructura de la comunidad. ....	14
6.3.1. Diversidad ecológica. ....	14
6.3.2. Análisis de similitud. ....	16
6.3.3. Curvas de abundancia-biomasa (ABC). ....	19
6.3.4. Diversidad taxonómica. ....	21
6.4. Organización de la comunidad. ....	26
6.4.1. Indicadores globales. ....	28
6.4.2. Indicadores locales. ....	30
6.4.2.1. Medidas de centralidad. ....	30
6.4.2.2. Indicador de elementos clave. ....	36
6.4.3. Ajuste de índices topológicos a una red de libre escala. ....	38

<b>7. RESULTADOS</b> .....	39
7.1. Estructura de la comunidad de peces. ....	39
7.1.1 Análisis de similitud. ....	43
7.2. Curvas de abundancia-biomasa. ....	43
7.3. Diversidad taxonómica. ....	45
7.3.1. Disimilitud taxonómica. ....	48
7.4. Organización de la comunidad. ....	49
7.4.1. Indicadores globales. ....	49
7.4.2. Indicadores locales. ....	51
7.4.3. Ajuste de distribuciones de frecuencia de índices topológicos. ....	66
<b>8. DISCUSIÓN.</b> .....	69
<b>9. CONCLUSIONES.</b> .....	79
<b>10. BIBLIOGRAFÍA.</b> .....	81
<b>11. ANEXOS.</b> .....	103



## LISTAS DE FIGURAS

FIGURA	PÁG.
<p>Figura 1. Área de estudio. Los puntos blancos y negros indican las estaciones de 1994-1995 y 2006-2007, respectivamente, en la costa sur de Sinaloa.....</p>	11
<p>Figura 2. Diagrama de enfoques metodológicos. Los códigos indican la variable biológica, medida de afinidad, distancia, cercanía y relaciones. S = especie; <math>A_{pi}</math> = Proporción de abundancia; <math>H'</math> = diversidad; AF = abundancia y frecuencia; CB = coeficiente de Bray Curtis; A-B = abundancia-biomasa; DTX = distancia taxonómica; P/A = Presencia y ausencia; CG = coeficiente Gamma; D = grado de conexión; RC = rutas cortas; RB = relación bidireccional; RAHT = relación de amplitud, hijos y total de taxones. ....</p>	13
<p>Figura 3. Esquema del análisis de similitud. Los números indican la secuencia del proceso realizado en el programa PRIMER 6. ....</p>	18
<p>Figura 4. Representación esquemática del comportamiento de las curvas k-dominancia de abundancia-biomasa, en tres estados teóricos de estrés de la comunidad. El eje (y) muestra la escala de dominancia acumulada de las especies y el eje (x) representa el rango de especies en escala logarítmica (Warwick, 1986) .....</p>	20
<p>Figura 5. Árboles taxonómicos, con el mismo número de especies y diferente arreglo taxonómico. La línea gruesa de color negro (<math>dw</math>) indica el peso entre dos jerarquías taxonómicas (p. ej., de Orden a Familia. ....</p>	22
<p>Figura 6. Analogía de un árbol taxonómico (a) y una red sin ciclos (b). ....</p>	27

Figura 7. Ejemplo hipotético de una red taxonómica, valores locales y globales del índice de la diferenciación topológica.....	30
Figura 8. Redes y distribución de grado ajustado a la distribución de Poisson (A y B) y ley de potencia (C y D). P (K) indica el número de nodos con k conexiones. ....	33
Figura 9. Aproximación de la cercanía de un nodo al resto de la red (tomado de Izquierdo & Hanneman, 2006). ....	35
Figura 10. Esquema conceptual de la dirección de los efectos y cálculos correspondientes del índice de especie clave K. Ejemplo hipotético de red trófica tomado de Jordán <i>et al.</i> 1999. ....	37
Figura 11. Atributos de la comunidad de peces de las épocas 1994-1995 y 2006-2007. a: Diversidad y riqueza de 1994-1995; b: Diversidad y riqueza de 2006-2007; c: Equidad de ambas épocas; d: Diversidad y riqueza por época; S: Septiembre; D: Diciembre; A: Abril; E: Enero; J: Junio, F: Febrero; 94:1994; 95:1995; 06: 2006 y 07:2007.. ....	40
Figura 12. Composición y dominancia en porcentaje de aporte del índice de Valor Biológico de Sanders (IVB) de especies comunes en ambas épocas. ....	42
Figura 13. Curvas acumuladas de abundancia y biomasa de peces asociados a la captura de camarón en la costa sur de Sinaloa, en cruceros realizados durante 1994-1995 (a, b, c y d,) y 2006-2007 (e, f, g y h). ....	44
Figura 14. Distinción taxonómica y riqueza de especies de cruceros realizados en la temporada de pesca de camarón 1994-1995 (a) y 2006-2007 (b). Símbolos de cruceros definidos en la figura 11. .	45

Figura 15. Distribución de probabilidad obtenida con 1000 sub muestras aleatorias de $n$ especies de la matriz madre y valores de $\Delta^+$ por crucero (a), época (b) y $\Lambda^+$ por crucero (c). Los valores observados en cada crucero se representan por los puntos negros. Símbolos de cruceros definidos en la figura 11. ....	47
Figura 16. . Contornos de probabilidad a 95% de confianza, obtenidos con 1000 simulaciones. El valor entre paréntesis representa las especies encontradas en el crucero; los puntos negros simbolizan los cruceros y las líneas de color son los contornos de probabilidad de la riqueza de especies (S) para cada sub muestra. Símbolos de cruceros definidos en la figura 11.. ....	48
Figura 17. Aglomeración jerárquica de disimilitud taxonómica de la comunidad de peces de 1994-1995 y 2006-2007. Símbolos de cruceros definidos en la figura 11. ....	49
Figura 18. Árboles taxonómicos construidos a partir de la matriz de adyacencia con el programa SICAMA 1.0. ....	50
Figura 19. Diferenciación topológica de redes no cíclicas obtenidas a partir de elencos sistemáticos de dos épocas. ....	51
Figura 20. Indicadores topológicos para la categoría Orden de 1994-1995 y 2006/ 2007. D: Grado, BC <sub>i</sub> : Intermediación, CC <sub>i</sub> : Centralidad, K: Especies clave K y D <sub>TN</sub> : Diferenciación topológica. ....	53
Figura 21. Indicadores topológicos de redes para la categoría Familia de 1994-1995 y 2006/ 2007. D: Grado, BC <sub>i</sub> : Intermediación, CC <sub>i</sub> : Centralidad, K: Especies clave K y D <sub>TN</sub> : Diferenciación topológica. ....	56

Figura 22. Indicadores topológicos para la categoría de Género de 1994-1995 y 2006-2007. D: Grado, BC <sub>i</sub> : Intermediación, CC <sub>i</sub> : Centralidad, K: Especies clave K y D <sub>TN</sub> : Diferenciación topológica. ....	61
Figura 23. Secuencia de imágenes de para la captura y análisis topológico de un árbol taxonómico. ....	145
Figura 24. Secuencia de construcción del árbol mínimo o rutas cortas de una red, a través del algoritmo de búsqueda de amplitud (tomado de Coto, 2003). ....	163
Figura 25. Veda de camarón en el Océano Pacífico mexicano. La línea indica el promedio de días de veda durante 1970/1978 (Rodríguez-De La Cruz, 1981b), 1989/1998 y 2000/2008 (DOF, 1989-2008). ....	164
Figura 26. Estadístico <i>W</i> durante los cruceros de las épocas a comparar. .	165
Figura 27. Arreglos taxonómicos hipotéticos propuestos por Warwick y Clarke (2001), para mostrar la distinción taxonómica promedio como medida de la diversidad biológica para muestras con la misma riqueza de especies. ....	167
Figura 28. Estimación de la distinción taxonómica promedio ( $\Delta^+$ ) y variación de la distinción taxonómica promedio ( $\Lambda^+$ ), para 100 árboles taxonómicos con riqueza que va de 2 a 74 especies. ....	170
Figura 29. Ajuste del modelo potencial y residual para la variable de respuesta el índice de diferenciación topológica ponderado al número de taxones del árbol taxonómico general (D <sub>TN</sub> ). ....	171
Figura 30. Modelo potencial y residual para la variable de respuesta el índice de grado (D). ....	172

Figura 31. Modelo potencial y residual para la variable de respuesta el índice de especie clave K. ....	173
Figura 32. Ejemplo del desempeño de la diferenciación topológica ( $D_{TN}$ ) en diferentes estados de un árbol taxonómico, al quitar especies que perteneces al mismo Género ( $f_2$ ) u Orden ( $f_3$ ) y agregar especies que se unen a nivel de Género ( $f_4$ ), Familia ( $f_5$ ) u Orden ( $f_6$ ). ....	174
Figura 33. Familias de importancia topológica en ambos periodos 1994-1995 (a y b) y 2006-2007 (c y d). ....	175
Figura 34. Árbol taxonómico y red trófica de 1994-1995 de la costa sur de Sinaloa. Los círculos rojos indican las 13 familias comunes en las dos redes. ....	176

## LISTA DE TABLAS

<b>TABLA</b>	<b>PÁG.</b>
Tabla 1. Ejemplo de la matriz de agregación taxonómica, para determinar los índices de diversidad taxonómica en el programa PRIMER 6. Para ello, se presenta únicamente una sección de la misma. ....	24
Tabla 2. Coeficiente de determinación del ajuste a una ley de potencia del índice de Grado (G), Especie clave (K), Intermediación (BCi), Intermediación ponderada (BCi <sub>N</sub> ), Cercanía (CCi) y Diferenciación topológica (D <sub>TN</sub> ). $\gamma$ y $c$ son los coeficientes de la potencial decreciente mientras que $p$ es la significancia del ajuste no lineal. ....	66
Tabla 3. Matrices madre y de presencia/ausencia. ....	166
Tabla 4. Matriz de adyacencia construida para el árbol taxonómico hipotético (a). ....	167
Tabla 5. Valores de los índices estimados para los árboles taxonómicos propuestos por Warwick y Clarke (2001), para demostrar las propiedades de la distinción taxonómica promedio. ....	168
Tabla 6. Coeficiente correlación de Spearman de los índices obtenidos en los seis árboles taxonómicos hipotéticos, construidos con la misma riqueza de especies. ....	168
Tabla 7. Coeficiente de correlación de Spearman de la diferenciación topológica (D <sub>TN</sub> ), Conectividad (C), Uniones (L), índice de grado (D), índice de especie clave K y distinción taxonómica promedio. ....	169
Tabla 8. Familias de peces presentes en el árbol taxonómico (AT) y en la red trófica (RT). La centralidad de las redes fue calculada con base en cuatro índices topológicos (D, BC <sub>i</sub> , CC <sub>i</sub> y K). ....	177
Tabla 9. Correlación de Spearman de índices topológicos de familias comunes en el árbol taxonómico y la red trófica de 1994-1995. ...	177

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO	PÁG.
Anexo 1. Elenco sistemático. El arreglo de los taxa, sigue la clasificación propuesta por Nelson (2006) y en orden alfabético los géneros con sus respectivas especies. ....	103
Anexo 2. Programa para el sistema de captura de matrices (SICAMA) y proceso para determinar el índice diferenciación topológica ( $D_{TN}$ ). ....	112
Anexo 3. Programa para determinar Índices estructurales del análisis de redes tróficas (IEART). ....	146
Anexo 4. Taxones obtenidos durante las capturas de las redes de arrastre, con su abundancia numérica (AR%), Índice de Valor Biológico de Sanders (IVB), de especies que contribuyen con 95% de la abundancia total, porcentaje de similitud (Sim) y disimilitud (Dism.) de ambos periodos. ....	158
Anexo 5. Algoritmo de búsqueda en amplitud (BFS). ....	162
Anexo 6. Periodos de veda entre temporadas de pesca del camarón. ....	164
Anexo 7. Estrés de la comunidad de peces asociados a fondos blandos del sur de Sinaloa en 1994-1995 (S'94, D'94, A'95 y J'95) y 2006-2007 (S'06, D'06, E'07 y F'07). ....	165
Anexo 8. Casos de estudio publicados por Warwick y Clarke (2001). ....	166
Anexo 9. Método y resultados de la simulación de árboles taxonómicos. ...	169
Anexo 10. Dependencia de la diferenciación topológica ( $D_{TN}$ ). ....	174

Anexo 11. Arquitectura topológica de árboles taxonómicos de las familias Sciaenidae y Carangidae identificadas como importantes en cada época por los indicadores estructurales utilizados. ....	175
Anexo 12. Comparación topológica de un árbol taxonómico y una red trófica de la época 1994-1995. ....	176
Anexo 13. Contribuciones generadas durante el doctorado. ....	178



## RESUMEN

La variabilidad de la abundancia de especies y la pérdida, afectan la dinámica espacial y temporal de las comunidades, de ahí que las Investigaciones actuales se centran en evaluar cambios tanto en la riqueza y la diversidad, como en las relaciones taxonómicas entre las especies. Hay evidencias de que este tipo de análisis no depende del esfuerzo de muestreo, sin embargo este enfoque no considera la descripción de las propiedades topológicas de las interrelaciones. El objetivo de este estudio fue caracterizar los cambios en la estructura y organización de la comunidad de peces asociados a fondos blandos en la costa sur de Sinaloa, en dos épocas (1994-1995 y 2006-2007). Para el análisis de la comunidad, se utilizaron cuatro enfoques metodológicos: (1) descriptores ecológicos, (2) curvas de abundancia / biomasa, (3) la distinción taxonómica promedio e (4) índices utilizados para detectar especies claves en redes tróficas. En cuanto a la estructura de la comunidad, las especies dominantes fueron la cabrilla *Diplectrum pacificum* en 1994-1995 y los bagres *Cathorops spp.*, para 2006-2007. Los patrones de riqueza de especies (S) y diversidad ( $H'$ ) fueron diferentes entre épocas, con menor variabilidad de estos atributos en 2006-2007. En ambas épocas, las curvas de biomasa y abundancia, mostraron un estrés moderado con mayor intensidad en 2006-2007 ( $\bar{w} = -0.150$ ) que en 1994-1995 ( $\bar{w} = -0.083$ ). Los valores de la distinción taxonómica promedio, se ubicaron dentro de la distribución de probabilidad del índice, lo que sugiere que no hay un impacto significativo. Sin embargo, los valores estimados para la temporada 1994-1995, se localizaron cerca del límite inferior de la distribución esperada, a diferencia de 2006-2007, que mostró valores próximos a la media, lo que indica una mayor diversidad taxonómica en esta última. Respecto a la organización comunitaria, los índices de centralidad (D, C<sub>Ci</sub> y B<sub>Ci</sub>) y de especies clave K, mostraron que las familias Sciaenidae y Carangidae, fueron importantes en los periodos de 1994-1995 y 2006-2007, respectivamente. Por otra parte, la diferenciación topológica identificó a la época 2006-2007, como la más heterogeneidad en taxones. En general, los resultados sugieren que la comunidad de peces durante 2006-2007 obtuvo mayor diversidad taxonómica, pero menor diversidad ecológica.

Palabras claves: Estructura de la comunidad, diversidad taxonómica, diferenciación topológica, topología, análisis de redes y peces.

## ABSTRACT

The variability in species abundance and loss, affect the spatial and temporal dynamics of communities. Current research focuses on revealing changes in richness and diversity, and taxonomic relationships between species. There is evidence that this type of analysis does not depend on sampling effort, however this approach fails to consider the description topological properties. The aim of this study was to characterize the changes in the structure and organization of fish community associated with soft bottoms off the southern coast of Sinaloa, in two periods (1994-1995 and 2006-2007). For community analyses were used four methodological approaches: (1) ecological descriptors, (2) curves of abundance / biomass, (3) average taxonomic distinctiveness and (4) indices to identify keystone species in food webs. In regard to community structure, the dominant species were the inshore sand perch *Diplectrum pacificum* in 1994-1995 and the catfishes *Cathorops spp.*, for 2006-2007. The patterns of species richness (S) and diversity (H ') were different between periods, with lower variability of these attributes in 2006-2007. In both periods, the biomass and abundance curves showed a moderate stress, with greater intensity in 2006-2007 ( $\bar{w} = -0.150$ ) than in 1994-1995 ( $\bar{w} = -0.083$ ). The values of average taxonomic distinctness fell within the probability distribution of the index; suggesting that there is no significant impact. However, values for the 1994-1995 seasons were located near the lower limit of the expected distribution, in contrast to 2006-2007, which showed values near the average, indicating a greater taxonomic diversity. Respect to community organizing, centrality indices and keystone species K, showed than the families Sciaenidae and Carangidae were important in the periods 1994-1995 and 2006-2007, respectively. Moreover, the topological differentiation, identified to 2006-2007, as the period most heterogenic in taxa.

Keywords: community structure, taxonomic diversity, topological differentiation, topology, network analysis and fish.

## 1. INTRODUCCIÓN

Se estima que en los océanos habitan más de 30,000 especies de peces (Froese, 2007), cuyas poblaciones pueden disminuir por depredación, escasez de alimento, enfermedades, cambios en el medio ambiente y sobrepesca. En las últimas décadas se ha reportado que existen signos claros de sobreexplotación de poblaciones comercialmente importantes de peces, daños a los ecosistemas marinos y conflictos internacionales por la inexistencia de instrumentos de ordenamiento pesquero y ambiental. Esto representa una amenaza para la sustentabilidad a largo plazo de los recursos, lo cual obliga a adoptar nuevos enfoques para la ordenación de las pesquerías y las interpretaciones ecológicas (FAO, 1995).

Asociado a la sobreexplotación de los recursos, las pesquerías presentan descartes globales de 8% de la captura, de los cuales 2.6% le corresponden a las pesquerías de camarón (Eayrs, 2007; Kellher, 2008). Esta pesquería no solo contribuye con grandes cantidades de descarte, también afecta la estructura del hábitat y la función del ecosistema (Jones, 1992; Watling & Norse 1998; Thrush & Dayton, 2002), por el contacto físico con el fondo marino y la captura de una diversidad de especies de peces e invertebrados conocida como fauna acompañante, la cual es parcialmente aprovechada y el resto es devuelta al mar, con pocas posibilidades de supervivencia e implicaciones en la estructura y organización de las comunidades biológicas.

En México, la pesquería del camarón se caracteriza por su alternancia en el poder de pesca, áreas objetivo y épocas de explotación: los pescadores artesanales aprovechan el recurso en aguas interiores y la flota industrial lo explota en las aguas de la plataforma continental lo que da origen a una de las pesquerías más importantes por la generación de divisas y empleos en nuestro país (Berdegué, 1976; Magallón-Barajas, 1987; García-Caudillo & Gómez-Palafox 2005). Pese a ello, el Instituto Nacional de la Pesca (2000) identifica tres problemáticas:

1. El estudio de la estimación del tamaño y estructura de las poblaciones de

camarón y fauna de acompañante.

2. Alternativas tecnológicas, por la incidencia de las redes de arrastre en las comunidades asociadas a fondos marinos.
3. Problemas sociales derivados de la pesca ribereña y furtiva de arrastres dirigidos a la captura del camarón y especies asociadas.

Si bien existen algunos estudios aislados acerca de la composición de la fauna acompañante de camarón (FAC) (p. ej., Chávez & Arvizu-Martínez, 1972; Pérez-Mellado & Findley, 1985; van der Heiden 1985; Amezcua-Linares 1996; Rodríguez-Cajica, 1996; González-Sansón *et al.* 1997; Manjarrez, 2001), las asociaciones funcionales en tiempo y espacio de las comunidades de peces son relativamente poco conocidas. En general, se conoce que el impacto de la pesca de arrastre ha ocasionado un deterioro en el ambiente bentónico con repercusiones en el ecosistema (Guillett, 2008) y una reducción en la talla promedio en las poblaciones explotadas (Beverton & Holt, 1993).

Los efectos de las redes de arrastre en el hábitat bentónico han sido objeto de estudio por diversos autores, debido a que este hábitat provee de refugio a peces que sirven de alimento a juveniles de especies comerciales (Schratzberger & Jennings, 2002), lo que sugiere, que los cambios en dichos hábitats pueden afectar las abundancias de las comunidades bentónicas (p. ej., Bergman & van Santibrink, 2000; Ball *et al.*, 2000).

Actualmente, existen diversos trabajos que han establecido que el deterioro gradual puede ser evidenciado por indicadores en el ecosistema orientados a evaluar los efectos de la pesca. Por ello, recientemente se han explorado varios enfoques metodológicos, debido a la necesidad de contar con indicadores que puedan servir de referencia para conocer el estado del ecosistema (Rochet & Trenkel, 2003; Fulton *et al.*, 2005).

Una de las hipótesis acerca del efecto de las redes de arrastre usadas por las embarcaciones camaroneras postula, que el impacto de la pesca causa la mortalidad incidental en las especies bentónicas que no son el objetivo, con reducción en la

captura de peces que sostienen otras pesquerías (Guillett, 2008). Entre los enfoques para evaluar el impacto sobre las comunidades biológicas está el análisis taxonómico de la diversidad (Clarke & Warwick, 1999). Esta metodología ha sido utilizada para detectar cambios en comunidades ícticas y macrobentónicas (Warwick & Clarke, 2000; Warwick *et al.* 2002; Ramos *et al.*, 2005; Sosa, 2005; Leonard *et al.*, 2006).

También es habitualmente aceptado que las comunidades de peces pueden ser indicadoras de cambios en el ambiente donde se desarrollan (Fausch *et al.*, 1990; Moore *et al.*, 1981), debido a que responden a las perturbaciones mediante cambios en su biología, abundancia, composición de las especies y estructura ecológica de la comunidad. Tales cambios son comúnmente asociados al impacto de la pesca por la captura incidental (Jennings *et al.*, 1999; Bianchi *et al.*, 2000). Sin embargo, las fluctuaciones también se dan en la organización de jerarquías taxonómicas de la comunidad, debido a la ausencia o presencia de especies, con consecuencias en la topología de las redes tróficas.

Por lo tanto, existe el interés en el análisis de la estructura y organización peces, como bioindicadores del estado del ecosistema. Para ello, en el presente estudio se utilizaron cuatro enfoques metodológicos, para caracterizar los cambios en la estructura y organización de asociaciones de peces registradas en la pesquería del camarón en dos épocas (1994-1995 y 2006-2007) en la costa sur de Sinaloa. En este contexto, la organización se considera como el orden jerárquico de las relaciones de entidades que hacen posibles una arquitectura topológica identificable; en donde las entidades no pueden existir de manera independiente, por depender de otras de bajo nivel, las cuales en su conjunto muestran patrones topológicos que pueden ser identificados (Kolasa & Pickett 1989). Por tanto en el presente estudio se considera a los árboles taxonómicos como la organización de la comunidad, por presentar un orden jerárquico de taxones, que reflejan tanto las relaciones de clasificación Linneana como de índole histórica (ecológicas y de ancestro-descendencia), por lo cual fueron considerados como descriptores de la organización comunitaria.

## 2. ANTECEDENTES

Diversos trabajos se han realizado para explicar la abundancia de las especies, su persistencia y las relaciones inter específicas dentro de la comunidad. En general las comunidades, con base en sus características estructurales de especies dominantes y por su hábitat físico, modulan el tipo de vida, su capacidad de reproducción, territorialidad y estrategias de crecimiento (Margalef, 1982). Sin embargo, para generalizar, se puede afirmar que la alta diversidad se encuentra en comunidades maduras, poco perturbadas, en comunidades de reciente establecimiento o con cambios en su interior (Odum, 1972) de las zonas tropicales. Asimismo, se ha propuesto que los cambios en la estructura de la comunidad en el tiempo y en el espacio son indicadores de alguna perturbación (Jenning *et al.*, 2000). Particularmente se ha documentado la relación del impacto sobre los hábitats bentónicos, con la frecuencia y severidad de arrastres (p. ej. Jones, 1992; Kaiser *et al.*, 1998). El efecto de los arrastres sobre comunidades bentónicas, provoca una reducción en la diversidad, biomasa y tamaño de los organismos, lo cual usualmente implica una recuperación a largo plazo (Ball *et al.*, 2000; Kaiser *et al.*, 2002; Hiddink, *et al.*, 2006). Razón por la cual, los nuevos enfoques para el manejo de los recursos pesqueros deben considerar los efectos ecológicos de la captura incidental (Kellher, 2008).

En la última década se ha hecho énfasis en la comparación de la estructura de las comunidades de peces, para evidenciar el impacto de las redes de arrastre mediante el empleo de índices de diversidad ecológica y riqueza específica; sin embargo, no han sido suficientes para revelar cambios significativos en las comunidades (Jennings & Reynolds, 2000). Esto ha traído como consecuencia que se haya intentado evaluar los impactos mediante otros enfoques principalmente, multifactoriales indicadores de agregación (p. ej., curvas de k-dominancia), métodos de agrupación y análisis de la comunidad (p. ej., análisis de grupos, modelos lineales generalizados de abundancia, riqueza, diversidad y similaridad); no obstante, los resultados no fueron muy alentadores debido a la falta de sensibilidad al evaluar los

efecto de la pesca sobre el ecosistema. Pese a ello, las curvas de dominancia y el escalamiento multidimensional emergen como métodos promisorios para su uso (Rice, 2000).

También, se han explorado los efectos temporales de la pesca de arrastre sobre peces demersales, mediante el grado de estrés obtenido a partir de la comparación de curvas de abundancia-biomasa; con el aumento de la intensidad de pesca, la comunidad es dominada por especies pequeñas de rápido crecimiento y oportunistas, este método muestra ser promisorio para evidenciar dichos efectos (Yemane *et al.*, 2005). Sin embargo la sensibilidad del grado de estrés, depende de la resolución taxonómica, porque la agregación de las especies en cuanto al género, familia u orden, afectan el comportamiento de las curvas (Jouffre & Inejih, 2005). Otra perspectiva de análisis de la diversidad es la aplicación de indicadores con base en la diversidad taxonómica; este enfoque ha demostrado ser más sensible a los cambios si lo comparamos con el índice de Shannon-Wiener y el de Simpson (Clarke & Warwick, 2001; Leonard *et al.*, 2006). Mediante el empleo de estos enfoques ha sido posible identificar impactos de la pesca o alteraciones en el ambiente, a través de las modificaciones en la composición ictiofaunística (Sosa, 2005).

Otro enfoque para detectar cambios en las comunidades de peces, son los índices con base en el análisis de redes tróficas que aportan información de la complejidad y condición del ecosistema (Kay *et al.*, 1989). Dentro de este enfoque existe la tendencia a utilizar índices derivados del análisis de redes sociales, los cuales han permitido revelar atributos de redes tróficas para detectar especies claves en el ecosistema y las rutas tróficas más importantes (Jordán *et al.*, 2006; Vasas & Jordán, 2006).

En México sólo se han realizado estudios sobre fauna acompañante, dirigidos hacia la estructura de la comunidad íctica. Así por ejemplo, se sabe que en el Golfo de México, particularmente en la Sonda de Campeche, se presenta un ecosistema de alta diversidad de especies de peces demersales, y aproximadamente 70% de ellas pasan parte de su ciclo de vida en la Laguna de Términos (Yáñez-Arancibia &

Pérez-Gil, 1985). Asimismo, se sabe que la abundancia de los peces demersales en esta región, está íntimamente relacionada con las características batimétricas; a mayor profundidad se reduce la proporción de captura de camarón-fauna, la cual en promedio es de 1:12; muy similar a las proporciones encontradas en el litoral del Océano Pacífico mexicano (Yáñez-Arancibia & Sánchez-Gil, 1988).

En el Pacífico mexicano, la comunidad íctica asociada a la pesquería del camarón presenta cierta uniformidad y cambia su composición específica dependiendo del área de arrastre (Chávez & Arvizu-Martínez, 1972; van der Heiden, 1985), con dominancia de 86% de peces en las capturas obtenidas en aguas someras (Hendrickx *et al.*, 1984). La proporción de captura promedio de fauna de camarón es de 1:9.67 (Pérez-Mellado & Findley, 1985). La fauna íctica de las costas de Sinaloa se caracterizan por presentar una variación estacional en su biomasa, abundancia relativa y diversidad. En las redes de arrastre camaroneras, se ha observado que las capturas de fauna acompañante decrecen a medida que transcurre la temporada de pesca; aunque esta reducción también está asociada a la disminución de la temperatura del mar (Pérez-Mellado & Findley, 1985; Manjarrez, 2001).



### 3. JUSTIFICACIÓN

Independientemente del sistema de pesca utilizado, las capturas incidentales tienen consecuencias importantes sobre las poblaciones, las redes tróficas y el ecosistema (FAO, 2009). Se estima que las pesquerías de arrastre de camarón (27%) en zonas tropicales y peces demersales (36%) contribuyen con 53% del promedio anual de las capturas calculadas en 7.3 millones de toneladas (Eayrs, 2007; Kellher, 2008). En lo que respecta a las redes de arrastre, son uno de los sistemas de pesca que tiene mayor impacto sobre la diversidad de especies asociadas a fondos marinos, por presentar una baja selectividad, lo que da origen a una gran captura incidental de numerosas especies parcialmente aprovechadas, por su bajo valor comercial; además, gran parte de estas especies es regresada al mar viva o muerta (Eayrs, 2007).

Se ha sugerido que la estimación continua de las abundancias de especies del ecosistema marino puede contribuir para prevenir, mitigar o controlar su degradación y tener una referencia para el manejo sustentable (Dagg *et al.*, 1992). Tal parece que los estudios actuales para evidenciar los impactos de la pesca en las comunidades de peces asociados a la pesquería del camarón no han sido suficientes para evidenciar dicho impacto. Probablemente por dificultad que representa dar seguimiento a la fauna acompañante, dada la diversidad y variabilidad que presentan sus poblaciones o por la ausencia de indicadores con la capacidad de respuesta para evidenciar los cambios como lo señala Rice (2000); sin dejar de considerar que la variabilidad temporal en hábitat de fondos blandos atribuidos a la pesca, puede estar enmascarada por los cambios provocados por las perturbaciones naturales (Valdemarsen *et al.*, 2007). Por lo tanto, es necesario aplicar enfoques metodológicos que proporcionen indicadores sensibles, para poder entender dichos cambios en la estructura, organización de la comunidad de peces y cuantificar su magnitud.

Dado que la plataforma continental del sur de Sinaloa, se encuentra dentro del Golfo de California que aporta aproximadamente 90% de la producción pesquera del recurso camarón (García-Caudillo & Gómez-Palafox 2005) y el ecosistema ha estado

sujeto a explotación pesquera por parte de la flota camaronera oficialmente desde la década de 1930, con registro en el puerto de Mazatlán en 1952 (Berdegúe, 1976; Magallón-Barajas, 1987), en esta zona se ha generado un efecto acumulado de capturas incidentales y aportes de materia orgánica debido a los descartes de la fauna de acompañante. La literatura sugiere que esto genera impactos en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, aunque en muchos estudios no existen evidencias contundentes. No obstante, en algunos casos la falta de evidencias, se ha explicado con base en la falta de indicadores o metodologías lo suficientemente sensibles para detectar estos cambios. En este estudio se espera identificar diferencias temporales en la estructura y organización de la comunidad íctica mediante el uso de indicadores típicos del análisis de comunidades biológicas e índices del análisis de redes.

## 5. OBJETIVO

### General

Caracterizar los cambios en la estructura y organización de peces asociados a la pesquería del camarón en la costa sur de Sinaloa, al comparar las épocas de pesca 1994-1995 y 2006-2007.

### Específicos

- Describir y comparar atributos de la estructura de la comunidad de peces asociada a los arrastres camaroneros.
- Emplear y desarrollar indicadores que contribuyan a analizar la organización taxonómica de la comunidad de peces.
- Describir y comparar atributos de la organización de la ictiofauna en las épocas de estudio.

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1. Área de estudio

El área se ubica en la costa este de la boca del Golfo de California, entre los 24.39°N-107.91° W y los 22.183°N-105.75°W, en la costa sur de Sinaloa y norte de Nayarit (Fig. 1). Esta es una zona altamente productiva por la influencia de ecosistemas costeros, como lagunas, estuarios (Ortiz-Pérez *et al.*, 2006), y por la confluencia de la Corriente de California y la Corriente Norecuatorial (Wyrcki, 1967; Kessler, 2006). En lugares próximos al puerto de Mazatlán, la plataforma continental presenta una pendiente pronunciada, con una razón de profundidad-longitud de 1:260 m; al sur, en sus límites con Nayarit, la pendiente es muy suave, con proporciones de profundidad-longitud de 1:290 m (López-Avilés, 1986). Las profundidades de la zona de muestreo varían entre 10 y 117 m. En general, la zona se caracteriza por presentar fondo blando de arena y fango, con parches de roca (Rodríguez-Cajica, 1996; Rodríguez-De la Cruz, 1981a y b). La temperatura en la superficie del mar oscila entre 28 y 30°C, y entre 21 y 24°C en el fondo marino de la zona. La salinidad varía de 34 a 35 UPS (Manjarrez, 2001).

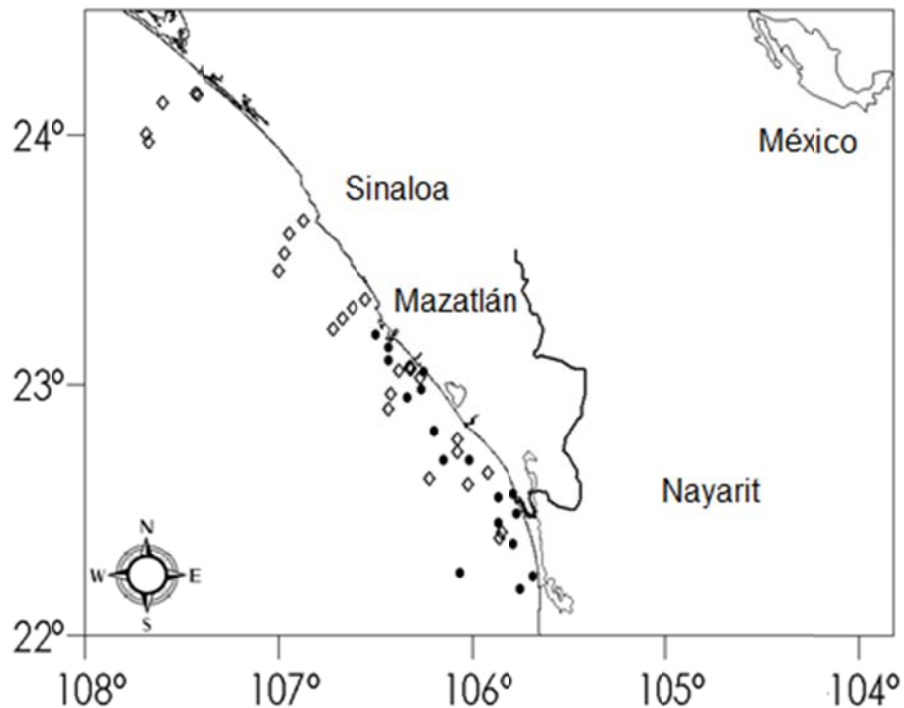


Figura 1. Área de estudio. Los puntos blancos y negros indican la red de estaciones de muestreo en 1994-1995 y 2006-2007, respectivamente.

## 6.2. Origen de los datos

Los datos de la composición y abundancia de especies de peces de la fauna acompañante del camarón provienen de dos épocas muestreadas 1994-1995 y 2006-2007. Para la época de septiembre de 1994 a abril de 1995, se efectuaron cuatro cruceros a bordo del buque oceanográfico *El Puma*, en 24 estaciones, con profundidades de 20 a 148.5 m. En total se realizaron 69 lances de manera sistemática con una red de arrastre de 95 ft de relinga superior. En cada arrastre se obtuvo una muestra de 15 a 25 kg de la captura. Para la época de septiembre de 2006 a febrero de 2007 se realizaron cuatro cruceros a bordo de una embarcación camaronera tipo Banfoco. Sistemáticamente se realizaron 85 lances con dos redes de arrastre de 90 ft de relinga superior, en 17 estaciones con profundidades de 10 a

80 m; en cada estación se obtuvieron muestras de 12 a 17.6 kg del total de la captura (30 a 200 kg). El tiempo de arrastre en ambos casos fue de aproximadamente una hora, a una velocidad de 3 nudos. La captura obtenida se estandarizó por unidad de área. Para ello, se estimó el área barrida por las redes de arrastre, con el método descrito por Sparre y Venema (1997), que consiste en multiplicar la distancia recorrida y la separación entre alas de la red de arrastre.

En ambas épocas, las muestras se conservaron en congelación, para su posterior análisis en laboratorio. El proceso de la muestra consistió en separar el material biológico por especie o grupos, obtener el peso, longitud total y número de individuos. Las especies no identificadas *in situ*, en el periodo de 2006-2007, se congelaron para su posterior análisis en laboratorio, donde se identificaron con claves taxonómicas de Bussing y López (1993), Fisher *et al.* (1995), Robertson y Allen (2006), y claves específicas para los géneros *Diplectrum* (Borne, 1997), *Umbrina* (Walker & Radford, 1992) y *Haemulopsis* (López, 1981).

El proceso y análisis de datos se realizó a nivel de crucero, por la carencia de abundancias obtenidas en cada estación en 1994-1995, motivo por el cual fue necesario usar esta estrategia para los datos del periodo 2006-2007.

A partir de los datos generados en ambas épocas se elaboró el elenco sistemático de peces asociados a fondos blandos del sur de Sinaloa. Del mismo modo, se realizó el análisis tanto de los atributos ecológicos de la estructura de la comunidad, como de la organización jerárquica de taxones, obtenida a partir de la riqueza de especies de los cruceros realizados en cada época. Para ello, se consideraron varios índices y modelos de agregación, que utilizan diferentes variables biológicas de la comunidad (Fig. 2).

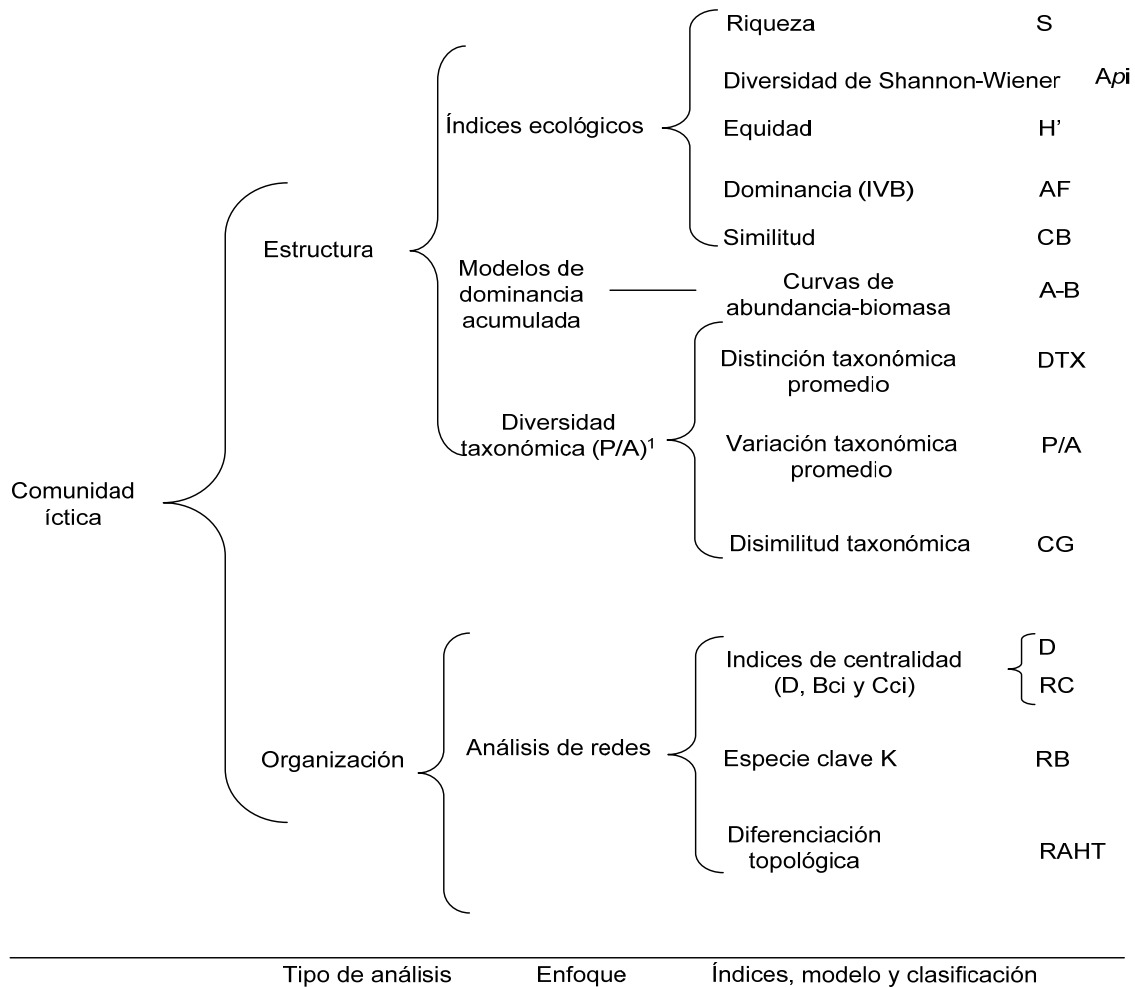


Figura 2. Diagrama de enfoques metodológicos. Los códigos indican la variable biológica, medida de afinidad, distancia, cercanía y relaciones. S = especie;  $A_{pi}$  = proporción de abundancia;  $H'$  = diversidad; AF = abundancia y frecuencia; CB = coeficiente de Bray Curtis; A-B = abundancia-biomasa; DTX = distancia taxonómica; P/A = presencia y ausencia; CG = coeficiente gamma; D = grado de conexión; RC = rutas cortas; RB = relación bidireccional; RAHT = relación de amplitud, hijos y total de taxones.

### 6.3. Análisis de la estructura de la comunidad.

#### 6.3.1. Diversidad ecológica.

Para caracterizar la diversidad ecológica de la comunidad de peces, se estimaron los siguientes índices:

- Riqueza específica. Se considera como el número de especies (S). Medida más simple usualmente utilizada para describir comunidades con base en el número de especies en una unidad de muestreo definida, sin considerar la estructura numérica (Magurran, 1988; Alcolado, 1998; Begon *et al.*, 1999; Moreno, 2001, Smith & Smith, 2006).
- *Diversidad* de Shannon-Weiner ( $H'$ , Ec. 1). Índice comúnmente utilizado para medir la diversidad de la comunidad, proviene de la teoría de la información; determina el grado de incertidumbre de la muestra (Smith & Smith, 2006). Considera la riqueza y la abundancia de especies, con la hipótesis de que todas las especies están representadas en la muestra y los individuos son seleccionados al azar (Magurran, 1988, 2004; Moreno, 2001).

$$H' = - \sum \left( \frac{x_i}{ABT} \right) \log_2 \left( \frac{x_i}{ABT} \right) \quad (1).$$

Donde  $x_i$  significa la importancia de la especie  $i$ , evaluada por la abundancia o biomasa y ABT es la suma de las importancias de las especies presentes en la muestra.

El contraste de la diversidad entre épocas fue determinada por la prueba  $t$  de Hutchenson, diseñada para comparar dos muestras con base en la varianza y grados de libertad calculados para el índice de Shannon-Wiener (Hutchenson, 1970; Magurran, 1988).



- Equidad de Pielou ( $J'$ , Ec. 2).

Es la proporción de la diversidad observada con respecto a la máxima esperada; expresa la uniformidad de la disposición de abundancia entre las especies. Su valor se ubica en entre 0 y 1, de tal manera que el valor máximo indica que la repartición de las abundancias entre las especies es homogénea (Pielou, 1975; Magurran, 1998, 2004).

$$J' = \frac{H'}{H_{max}} = \frac{H'}{\text{Log } S} \quad (2).$$

Donde  $H'$  es la diversidad estimada con el índice Shannon-Weiner,  $H_{max}$ , es la diversidad máxima esperada, la cual se alcanzaría, si todas las especies fueran igualmente abundantes. La base del logaritmo de la riqueza de especies ( $S$ ) deberá ser la utilizada en el cálculo de la diversidad.

- índice de dominancia Valor Biológico de Sanders (IVB, Ec. 3).

El orden de las especies *dominantes*, fue establecido con base en el índice de Valor Biológico (IVB) propuesto por Sanders (1960), el cual se estima a partir del valor de importancia asignado a cada especie en función a su abundancia numérica; con la particularidad de tener un valor puntual y un balance en la persistencia temporal de la abundancia de las especies (Loyola-Salinas & Escofer, 1990).

$$IVB = \sum_{i=1}^n Pu_{iq} \quad (3).$$

Donde  $Pu_{iq}$  es puntaje de la especie  $i$  en el sitio de colecta  $q$ .

### 6.3.2. Análisis de Similitud.

Para el análisis de agrupamiento jerárquico de los cruceros (CLUSTER en PRIMER 6), previa transformación de la abundancia de peces con Log (AB+1), se calculó el índice de Bray Curtis ( $S_{jk}$ ; Ec. 5) para obtener la matriz de similitud y con ella hacer el análisis de grupos con el algoritmo de agrupación por promedios (Clarke & Warwick, 2001).

$$S_{jk} = 100 \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^p |y_{ij} - y_{ik}|}{\sum_{i=1}^p (y_{ij} + y_{ik})} \right) \quad (5).$$

Donde  $y_{ij}$  y  $y_{ik}$  corresponden a la abundancia numérica transformada de la  $i^{\text{th}}$  especie en la  $k^{\text{th}}$  muestra.

Para determinar las especies que caracterizan las épocas, se utilizó la rutina de porcentaje de similitud SIMPER (en PRIMER 6) descrita por Clarke (1993) para analizar cambios en la comunidad. Esta rutina considera la matriz de similitud, para identificar las especies responsables del patrón de agrupamiento con base en la similitud promedio al interior de cada grupo. La diferencia promedio entre los grupos de las muestras a comparar, se determinó con el índice de disimilitud de Bray Curtis para dos muestras  $j$  y  $k$  ( $\delta_{jk}$ ; Ec. 6; Clarke & Warwick, 2001; Clarke & Gorley 2006).

$$\delta_{jk} = 100 - S_{jk} \quad (6).$$

Donde

$$\delta_{jk} = 100 \left( \frac{\sum_{i=1}^p |y_{ij} - y_{ik}|}{\sum_{i=1}^p (y_{ij} + y_{ik})} \right) \quad (7).$$

Para verificar la diferencia en la composición de especies entre grupos de cruceros obtenidos en el análisis de similitud, se realizó la prueba de análisis multifactorial de similitudes de una vía (ANOSIM, en PRIMER 6) (Clarke & Green 1988), a partir de la matriz de similitud. Este análisis estadístico no paramétrico, es análogo al análisis de varianza (ANDEVA) utilizada en el análisis para la estadística unifactorial; permite verificar hipótesis nula ( $H_0$ ) de no diferencia entre grupos con el valor del estadístico R (Ec. 4), el cual es obtenido a partir de un muestreo aleatorio mediante el método de simulación Monte Carlo, con todas las combinaciones posibles de los sitios de muestreo. De esta manera se construye la distribución de frecuencias (Fig. 3) y se hace el contraste del estadístico R observado (Clarke & Warwick, 2001; Clarke & Gorley, 2006). El valor de la significación ( $p$ ) se calcula con base en los valores obtenidos en la simulación de R; si  $p < 0.05$  se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ). El estadístico R se estima mediante la expresión descrita por Clarke (1993).

$$R = \frac{\bar{r}_b - \bar{r}_w}{\left[ \frac{n(n-1)}{2} \right]} \quad (4).$$

Donde  $\bar{r}_w$  es el promedio de todos rangos de similitud obtenido entre las réplicas dentro de los sitios,  $\bar{r}_b$  el promedio del rango de similitud derivado de los pares de réplicas entre diferentes sitios y  $n$  es el total de muestras a comparar.

Los valores de R oscilan entre -1 y 1, pero usualmente van de 0 a 1; a medida que su valor se acerca a 1, aumenta el grado de discriminación entre los grupos y la posibilidad de rechazo de la hipótesis nula ( $H_0$ ). Si el valor de R es aproximadamente 0, indica que en promedio la similitud entre grupos es idéntica, de esta manera no se rechaza  $H_0$ . Pero si R es negativa puede ser debido a la baja riqueza de especies en la comunidad, a la variabilidad extrema en una muestra o simplemente al acomodo incorrecto de las muestras a comparar. Para este análisis se consideró la época como factor de clasificación *a priori*.

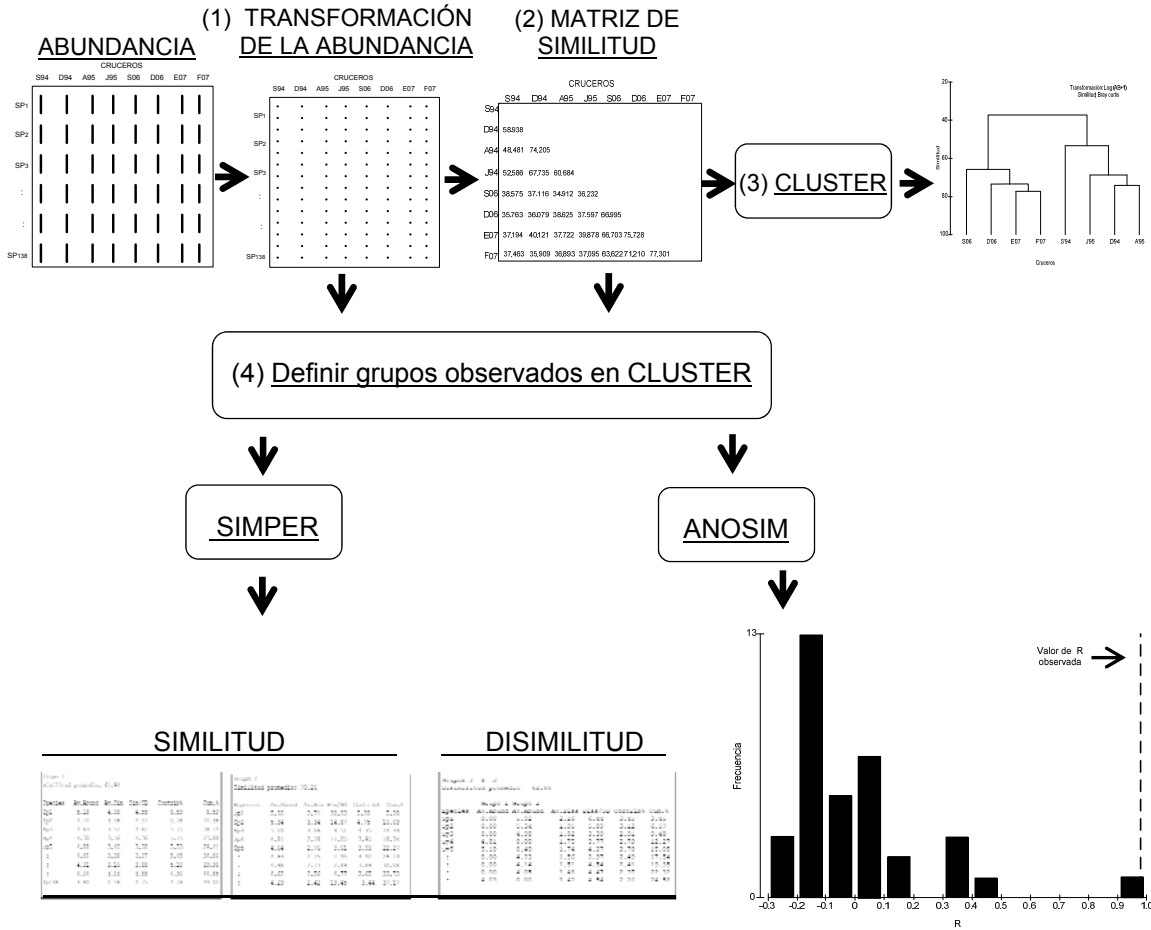


Figura 3. Esquema del análisis de similitud. Los números indican la secuencia del proceso realizado en el programa PRIMER 6.

### 6.3.3. Curvas de abundancia-biomasa (ABC).

Las curvas de abundancia-biomasa (ABC) son utilizadas para determinar el nivel de alteración o estrés ecológico de las comunidades, ya que permiten comparar en una gráfica la disposición de abundancia y biomasa de las especies en forma de curvas tipo  $k$ -dominancia (Lambhead *et al.*, 1983; Warwick, 1986). Las especies son ordenadas en el eje X (en escala logarítmica) en términos de su porcentaje acumulado de abundancia o biomasa, como se muestra en la figura 4. El supuesto detrás de este método es que, en condiciones estables, las especies son de gran tamaño, edad avanzada, de crecimiento lento y dominan la comunidad por su biomasa, este escenario es característico de ambientes prístinos o de baja perturbación. Por otro lado, a medida que el grado de estrés aumenta en la comunidad por perturbaciones, estas especies disminuyen y empiezan a dominar en abundancia numérica las especies de tallas pequeñas, de rápido crecimiento y vida corta (Warwick, 1986; Clarke & Warwick, 2001; Yemane *et al.*, 2005).

El nivel de estrés de las comunidades se evidencia por la diferencia de área entre las dos curvas, la cual se cuantifica con los valores del estadístico  $W$ , que fluctúan entre -1 a 1 (Ec. 8).

$$W = \frac{\sum_{i=1}^S B_i - A_i}{[50(S-1)]} \quad (8).$$

Donde  $B_i$  es la biomasa total de la muestra  $i$ ,  $A_i$  es el total de la abundancia numérica de la muestra  $i$  y  $S$  es el número de especies. Warwick (1986) propuso que un área está *sin estrés* cuando la curva de biomasa se encuentra encima de la curva de abundancia ( $W > 0$ ); *moderadamente estresada*, al coincidir las dos curvas con valores próximos a cero de  $W$ ; y *fuertemente estresado*, al estar la curva de biomasa por debajo de la curva de abundancia ( $W < 0$ ) (Fig. 4).

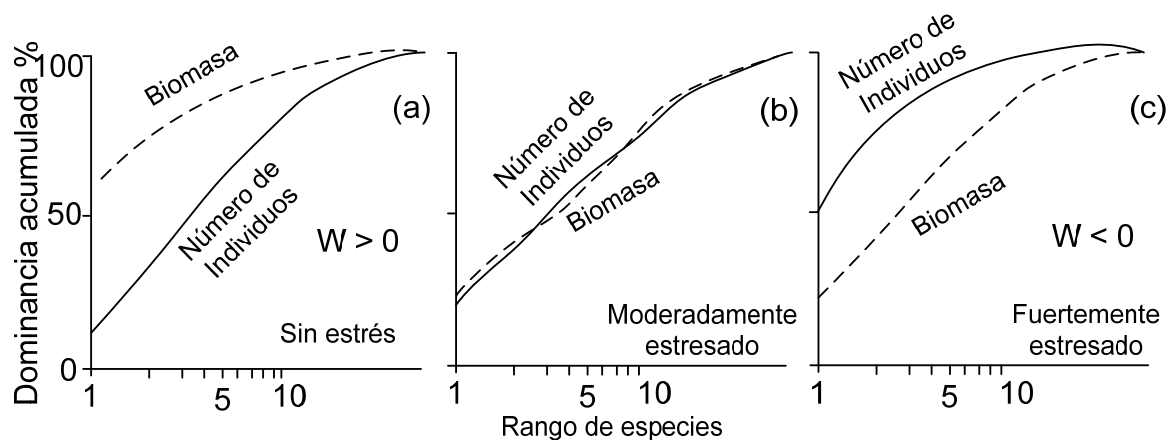


Figura 4. Representación esquemática del comportamiento de las curvas k-dominancia de abundancia-biomasa, en tres estados teóricos de estrés de la comunidad. El eje (y) muestra la escala de dominancia acumulada de las especies y el eje (x) representa el rango de especies en escala logarítmica (Warwick, 1986).

Para evitar el sesgo por efecto de agregación en la abundancia y la biomasa de las especies que sólo pudieron identificarse a nivel de género, se eliminaron de este análisis *Orthopristis spp.*, *Pomadasys spp.*, *Cynoscion spp.*, *Paralichthys spp.*, *Sciades spp.* y *Sphoeroides spp.*, de la época 1994-1995; para 2006-2007, se excluyó a *Synodus spp.* y *Cathorops spp.* Para evidenciar las diferencias entre 1994-1995 y 2006-2007 se realizó la comparación de medias, a través de la prueba t entre los valores obtenidos para el grado de estrés  $W$ .

#### 6.3.4. Diversidad taxonómica.

Con el objetivo no sólo de evidenciar cambios en la riqueza y diversidad con base en la abundancia, también se estudian los cambios en las relaciones taxonómicas entre las especies, por ser parte sustancial de la diversidad biológica y no depender estas del tamaño de la muestra (Warwick & Clarke 1998). Para ello, Warwick y Clarke (1995) y Clarke y Warwick (1998, 1999, 2001) propusieron varios índices para el análisis de diversidad taxonómica, como indicadores del nivel de relación taxonómica en un grupo de especies, puesto que dos muestras con el mismo número de especies y diversidad ecológica pueden tener diferente arreglo taxonómico (Fig. 5).

La diversidad taxonómica, determina la separación taxonómica promedio que existe entre especies agrupadas en un árbol taxonómico, construido con los criterios de la clasificación Linneana. La diversidad taxonómica puede ser considerada como una generalización del índice de diversidad de Simpson, con información de las relaciones entre los taxa (Clarke & Warwick, 1998; Mouillot *et al.*, 2005; Ramos-Miranda *et al.*, 2005) (Fig. 5). No obstante, para reducir el efecto de la abundancia de las especies dominantes, la diversidad taxonómica, se divide entre la probabilidad de que dos organismos sean de la misma muestra al realizar un muestreo aleatorio (diversidad de Simpson), y da como resultado la distinción taxonómica ( $\Delta^*$ , Ec. 9); la cual determina el promedio de la distancia taxonómica entre dos individuos de diferentes especies, con base en la abundancia y las relaciones taxonómicas (Clarke & Warwick, 1998, Clarke & Warwick, 2001).

$$\Delta^* = \frac{\sum \sum_{i < j} w_{ij} x_i x_j}{\sum \sum_{i < j} x_i x_j} \quad (9).$$

Donde  $x_i$  es la abundancia de la especie  $i$ ,  $w_{ij}$  (Ec. 10) es la distancia taxonómica entre las especies  $i$  y  $j$ , en términos de la diferencia taxonómica ponderada ( $dw = \frac{100}{T}$ ) que representa la fracción de la distancia que existe entre el taxón de mayor jerarquía y la especie.  $T$  representa el total de jerarquías taxonómicas en un árbol y el 100 la distancia máxima entre la especie y la máxima jerarquía taxonómica (p.ej., Phylum; Fig. 5a).

$$w_{ij} = dw_{n1} + dw_{n2} + \dots + dw_{nd} \quad (10).$$

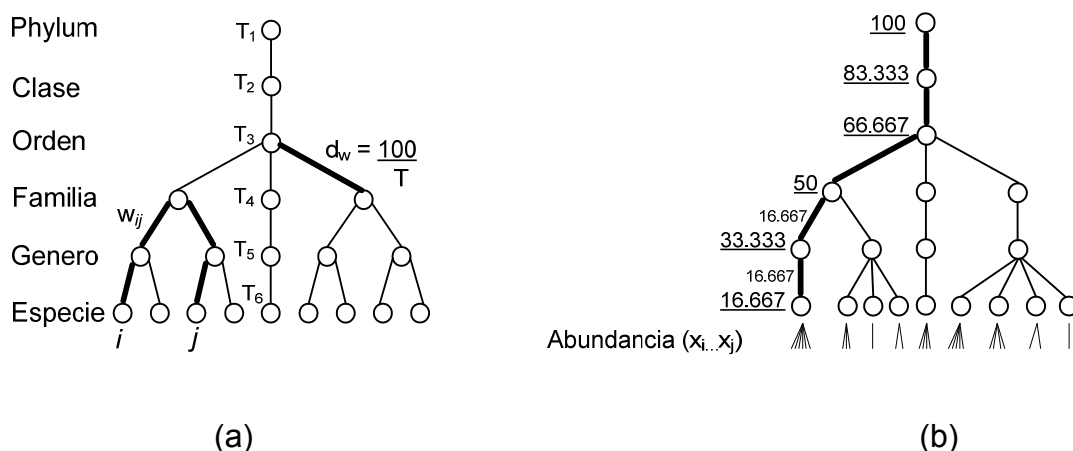


Figura 5. Árboles taxonómicos, con el mismo número de especies y diferente arreglo taxonómico. La línea gruesa de color negro ( $dw$ ) indica el peso entre dos jerarquías taxonómicas (p. ej., de Orden a Familia).

Cuando sólo se cuenta con datos de presencia/ausencia de las especies, la distinción taxonómica de la ecuación 9, se reduce a la ecuación 11, de esta manera se obtiene la distinción taxonómica promedio ( $\Delta +$ ), que a diferencia de la distinción taxonómica ( $\Delta^*$ ) no utiliza las abundancias de las especies (Warwick & Clarke, 1995; Clarke & Warwick, 1998).



$$\Delta+ = \frac{\sum \sum_{i<j} w_{ij}}{\left| \frac{S(S-1)}{2} \right|} \quad (11).$$

Por otro lado, la variación promedio en la distinción taxonómica ( $\Lambda+$ ) se obtiene con la ecuación 12.

$$\Lambda+ = \frac{\sum \sum_{i<j} (w_{ij} - \bar{w})^2}{\left| \frac{S(S-1)}{2} \right|} \quad (12).$$

Donde S es la riqueza especies en la muestra, para ambas ecuaciones y  $\bar{w}$  es el promedio de la distinción taxonómica que se obtiene con la siguiente expresión.

$$\bar{w} = 2 \frac{\sum \sum_{i<j} w_{ij}}{S(S-1)} \quad (13).$$

Las propiedades estadísticas de la  $\Delta^+$  fueron exploradas por Clarke y Warwick (1998): ambos encontraron que este índice es sensible a perturbaciones antropogénicas, fácil de determinar, no depende del tamaño de la muestra ni del esfuerzo de muestreo. Estas propiedades dan ventaja sobre las mediciones clásicas de biodiversidad. Además es útil para comparar localidades o periodos diferentes (Warwick & Clarke, 1998).

Para calcular estos índices en el programa Primer 6.0, es necesario construir la matriz madre con la agregación taxonómica de especies a comparar de ambos periodos y hacer el contraste de los valores del índice obtenido en cada crucero.

La matriz madre considera, en orden de izquierda a derecha, los taxones en columnas de menor a mayor jerarquía (p. ej., de Especie a Phylum; Tabla 1). Los diferentes niveles de jerarquía taxonómica fueron definidos conforme a la clasificación de peces propuesta por Nelson (2006).

Tabla 1. Ejemplo de la matriz de agregación taxonómica, para determinar los índices de diversidad taxonómica en el programa PRIMER 6. Para ello, se presenta únicamente una sección de la misma.

#	Especie	Género	Familia	Orden	Clase	Phylum
1	<i>Albula pacifica</i>	Albula	Albulidae	Albuliformes	Actinopterygii	Chordata
2	<i>Cynoponticus coniceps</i>	Cynoponticus	Muraenesocidae	Anguilliformes	Actinopterygii	Chordata
3	<i>Gymnothorax equatorialis</i>	Gymnothorax	Muraenidae	Anguilliformes	Actinopterygii	Chordata
4	<i>Muraena lentiginosa</i>	Muraena	Muraenidae	Anguilliformes	Actinopterygii	Chordata
5	<i>Ophichthus triserialis</i>	Ophichthus	Ophichthidae	Anguilliformes	Actinopterygii	Chordata
6	<i>Ophichthus zophochir</i>	Ophichthus	Ophichthidae	Anguilliformes	Actinopterygii	Chordata
:	:	:	:	:	:	:
138	<i>Narcine vermiculatus</i>	Narcine	Narcinidae	Torpediniformes	Chondrichthyes	Chordata

Por otro lado, mediante una rutina del programa Primer 6.0, que incorpora el muestreo aleatorio, se obtuvo la distribución de probabilidad a 95% de confianza resultante de 1 000 iteraciones sin remplazo. De esta manera se generan submuestras de diferente número de especies, con base en la matriz madre. Esto permite probar la hipótesis nula ( $H_0$ ) de que no hay diferencia en el promedio de la distinción con respecto a la obtenida en la simulación (Clarke & Warwick, 1998).

Para determinar las discrepancias entre 1994-1995 y 2006-2007, se realizó la comparación de medias, con la prueba t para los valores obtenidos de la distinción taxonómica; mientras que para la variación taxonómica promedio, se utilizó la prueba de Mann-Witney, por no pasar la prueba de normalidad (K.S.  $p < 0.05$ ) ni la homogeneidad de varianza ( $p < 0.05$ ).

#### 6.3.4.1. Disimilitud taxonómica.

Adicional a la determinación de indicadores de la diversidad taxonómica, se estimó la disimilitud taxonómica, la cual determina el grado de afinidad taxonómica entre muestras consideradas como unidades taxonómicas operativas (OTU) a clasificar. Para ello, se determinó el coeficiente de disimilitud gamma ( $\Gamma^+$ , Ec. 14), a partir de los datos de resencia/ausencia, obtenidos de la matriz transformada; esta medida deriva de la disimilitud de Bray-Curtis y fue desarrollada con el mismo concepto de la  $\Delta^+$ , al considerar las relaciones taxonómicas (Clarke & Gorley, 2006; Clarke *et al.*, 2006).

$$\Gamma^+ = \frac{\sum_{i=1}^{S_1} \min\{w_{ij}\} + \sum_{j=1}^{S_2} \min\{w_{ij}\}}{(S_1 + S_2)} \quad (14).$$

Donde  $S_1$  y  $S_2$  son número de especies presentes en la muestra 1 y 2 respectivamente y  $w_{ij}$  son las distancias taxonómicas de la especie  $i$  en  $S_1$  y  $j$  para  $S_2$ .

Para la validación estadística de las diferencias en la composición taxonómica entre grupos, se utilizó la rutina ANOSIM a partir de la matriz de disimilitud, con el mismo criterio de clasificación *a priori* mencionado en sección 6.3.2. (Análisis de Similitud).

#### 6.4. Organización de la comunidad.

El análisis de redes ha sido ampliamente utilizado para la descripción de la organización de redes tróficas de los ecosistemas. Este es un conjunto de métodos que tuvo su origen en los análisis de la economía de Leontief (1951) y Agustinovics (1970), donde se cuantifica la cantidad de materia prima para producir cierta cantidad de productos. Hannon (1973) incorporó el verdadero desarrollo matemático del enfoque aplicado a la ecología (Ulanowicz & Platt, 1985; Baird & Ulanowicz, 1989, 1993; Baird *et al.*, 1991; Ulanowicz & Wulff, 1991). Existen diversos índices que describen las principales características de una red trófica (Kay *et al.*, 1989). La mayoría de estos índices aportan información acerca de la complejidad de las redes tróficas; como complejidad se entiende que es el grado de interconexiones alimentarias que existen entre las especies en un ecosistema.

Con el objetivo de probar cambios en la estructura topológica de árboles taxonómicos obtenidos a partir de elencos sistemáticos de cada época (1994-1995 y 2006-2007), se estimaron sus atributos con el uso del análisis de redes con los programas UCINET 6.0, SICAMA v1.0 y IEART v1.0. La caracterización topológica es posible porque un árbol taxonómico puede ser representado como una red tipo árbol, por presentar características análogas. En este tipo de redes, sus partes están conectadas sin formar relaciones cíclicas, donde sólo existe una raíz (inicio); los nodos están relacionados por aristas (uniones) que forman rutas únicas entre la raíz y cada nodo final de la red (hoja), (Fig. 6) (Toranzos, 1976; Boundy & Murty, 1982; Goodaire & Partmenter, 2006).

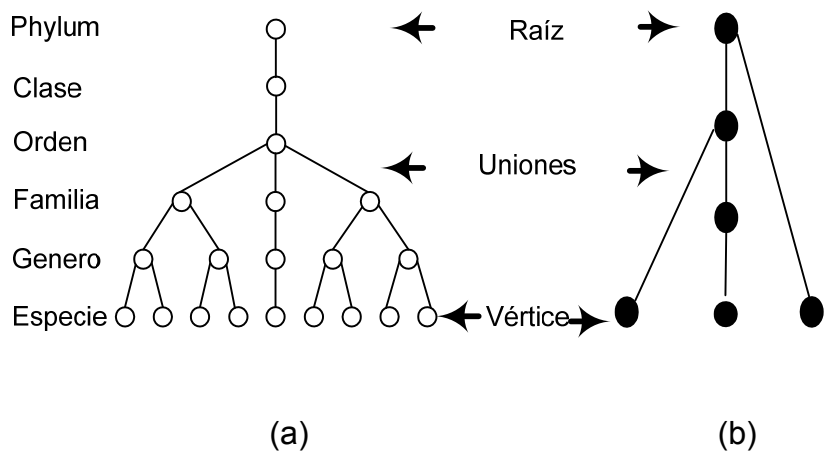


Figura 6. Analogía de un árbol taxonómico (a) y una red sin ciclos (b).

En este tipo de análisis, las relaciones entre taxones se representan por medio de una matriz de adyacencia simétrica  $M_{tx} = [a_{ij}]$ , donde el elemento  $a_{ij}$  es 1 cuando existe una arista que une a los taxones de diferente categoría  $T_i$  y  $T_j$ , de lo contrario es igual a 0.

La construcción de una matriz de adyacencia es imprescindible para convertir un árbol taxonómico a una red y aplicar índices topológicos; a pesar de su fácil construcción, el proceso se complica a medida que incrementa el tamaño del elenco sistemático. Por tal motivo fue necesario el desarrollo de un software en lenguaje de programación *Visual Basic*, para el “sistema de captura de matriz de adyacencia” (SICAMA v1.0, *vid.* Código fuente y ejemplo en el anexo 2) de una red tipo árbol y para cuantificar propiedades básicas de un elenco sistemático proveniente de una muestra. El programa fue diseñado para facilitar la construcción de la matriz de adyacencia taxonómica, con sólo definir la partición jerárquica e incorporar los diferentes taxones conforme al elenco sistemático definido para la muestra. El algoritmo del programa construye la matriz durante la agregación de taxones y evita los errores de conexión entre taxones. Una vez incorporada toda la información se produce la matriz mediante la cual es posible estimar índices del análisis de redes.

#### 6.4.1. Indicadores globales

La mayoría de estos índices aportan información acerca de la complejidad o grado de interconexión entre los elementos que la componen. Este tipo de análisis es utilizado en diferentes áreas, desde la biológica hasta la social. Recientemente el interés por este tipo de estudios ha crecido hacia la aplicación en redes tróficas; sin embargo, no se ha utilizado en árboles taxonómicos. La perspectiva del análisis topológico de redes implica tener en cuenta las propiedades básicas globales de la red e importancia local.

Las interacciones de las especies son una de las características de importancia que emergen de la red y dan una aproximación de complejidad estructural. En nuestro caso de estudio, a partir de la matriz de adyacencia, se estimaron los indicadores topológicos globales para cada época, como el número total de nodos ( $N$ ) y uniones ( $L = N-1$ ), (Chartrand, 1977; Boundy & Murty, 1982; Wilson & Watkins, 1990); además, se propone un nuevo índice llamado diferenciación topológica  $D_T$  (Ec. 15).

Dado que la red no cíclica tiene características como la profundidad y amplitud que la hacen ser diferente a las redes cíclicas, pero análogas a los árboles taxonómicos, es necesario proponer índices de estructura que den una aproximación de la complejidad taxonómica.

$$D_T = \sum_{h=1}^n \left( \left( \frac{1}{h+1} \right) \left( \frac{h}{Nt-Tax} \right) [100] \right) \quad (15).$$

Donde  $h$  es el número de taxones hijos,  $Nt$  el total de taxones en el árbol taxonómico y  $Tax$  el número de taxones en la jerarquía inmediata superior.

La sensibilidad del índice aumenta cuando los elementos topológicos que intervienen en la expresión ( $h$ ,  $Nt$  y  $Tax$ ) se dividen entre el total de taxones ( $Nt$ ) del árbol taxonómico (Ec. 16); de esta manera, el índice toma la siguiente forma:

$$D_{TN} = \sum_{h=1}^n \left( \left( \frac{1}{\frac{h}{Nt} + 1} \right) \left( \frac{\frac{h}{Nt}}{\frac{Nt - Tax}{Nt}} \right) [100] \right) \quad (16).$$

Al simplificarlo, se obtiene:

$$D_{TN} = \sum_{h=1}^n \left( \left( \frac{Nt}{Nt+h} \right) \left( \frac{h}{Nt-Tax} \right) [100] \right) \quad (17).$$

Para que dos árboles taxonómicos o redes no cíclicas puedan ser comparados entre sí, es necesario que ambas arquitecturas topológicas tengan condiciones de igualdad en la ponderación de los taxones hijos. Por lo tanto, para tal efecto, se sugiere que el valor de  $Nt$  sea el total de taxones de la matriz madre, porque contiene los taxones de los árboles taxonómicos a comparar.

La diferenciación topológica tiene la propiedad de relacionar atributos topológicos de la red en cada taxón, desde la jerarquía más alta (p. ej., Phylum, Orden o Clase) hasta Género ( $D_{TN}$ ; Ec. 17). La suma de los valores individuales da la diferenciación topológica (Fig. 7). Lo usual es comparar los valores puntuales de cualquier índice; no obstante, cuando se tiene que comparar dos o tres muestras, no es posible aplicar una prueba estadística. Por lo tanto, se propone hacer el contraste del conjunto de valores individuales de cada taxón de cada árbol taxonómico, a través de un análisis de varianza; de esta manera, la diferencia observada tendrá un sustento estadístico que la respalde.

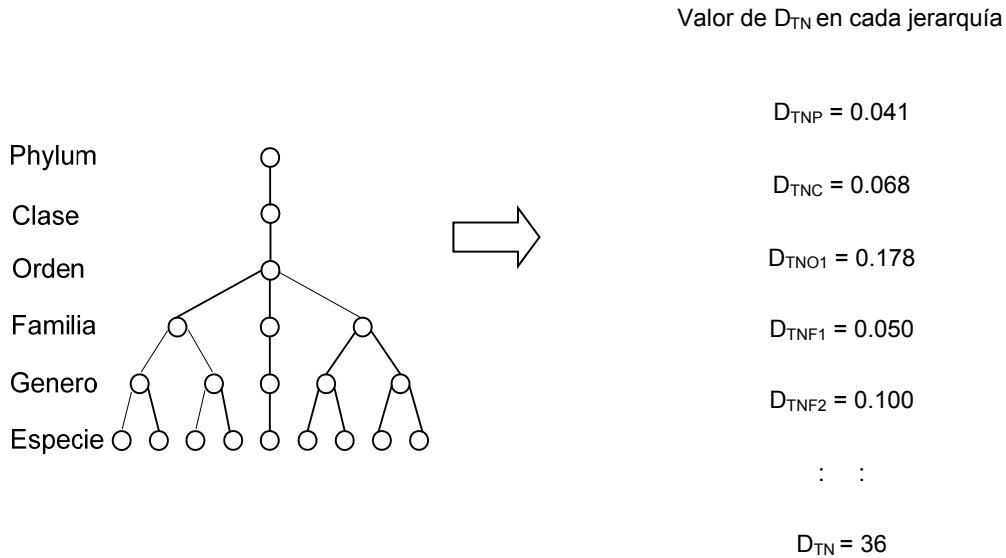


Figura 7. Ejemplo hipotético, los valores locales y globales del índice de la diferenciación topológica.

#### 6.4.2. Indicadores Locales.

##### 6.4.2.1. Medidas de centralidad.

Los índices de centralidad son medidas utilizadas en el análisis de redes; asignan un valor a cada nodo (Koschützki, 2008) para identificar la importancia posicional de cada nodo en la estructura de la red (Molina *et al.*, 2006). Frecuentemente la centralidad se utiliza como sinónimo de *medida de centralidad* e *índice de centralidad* (Koschützki *et al.*, 2005).

Existe una gran diversidad de índices de centralidad que aprovechan las propiedades de algoritmos de la teoría de grafos; algunos se determinan en función a sus vecinos (p. ej., grado, grado de entrada, grado de salida) o por las distancias cortas, como la intermediación y la cercanía (Junker & Schreiber, 2008). Los índices de centralidad utilizados en el presente estudio fueron calculados con el programa UCINET.



#### 6.4.2.1.1. Índice de grado (D)

El índice D es la medida estructural más simple de centralidad, dada por el número total de aristas o de uniones que determinan el grado de conexión de un nodo en la red (Izquierdo & Hanneman, 2006), si se especifica la dirección este índice se divide en grado de entrada al nodo ( $D_{in}$ ) y grado de salida del nodo ( $D_{out}$ ) (Jordán *et al.*, 2006). No obstante, en arboles taxonómicos, el índice de grado representa la suma de relaciones taxonómicas ( $K$ ) de un taxón ( $j$ ); de esta manera, el índice (D; Ec. 18) es representado por:

$$D = D_{in} + D_{out} = \sum_{k=1}^n K_j \quad (18).$$

La virtud que tiene este índice es la propiedad de caracterizar la estructura de una red compleja, mediante la distribución del número de vínculos ( $PK$ ) que inciden en un nodo. Nos proporciona la probabilidad de que un nodo tenga exactamente  $K$  vecinos, directamente conectados, al ser elegido de manera aleatoria, en una red de tamaño  $N$ .

En diferentes áreas caracterizaron la estructura topológica de redes sociales, ecológicas y tecnológicas, con la distribución del índice de grado; a pesar de ser tan diferente el fenómeno que representan, sus topologías tienen coincidencia con las redes llamadas (1) *aleatorias* y (2) *de libre escala* (Solé & Montoya, 2001; Dunne *et al.*, 2002 a, 2002 b; Montoya & Solé, 2002; Aldana, 2006; Arii *et al.*, 2007). En redes ecológicas de diferentes ecosistemas marinos y terrestres analizados por Montoya y Solé (2002), revelaron la tendencia de una distribución de grado nodal de ley de potencia. Sin embargo, pueden mostrar fuertes irregularidades en su distribución de conexiones; probablemente esto se debe a la resolución taxonómica de los grupos funcionales (Solé & Montoya, 2001; Montoya & Solé, 2002).

Las redes aleatorias son sistemas de nodos conectados al azar, en donde los valores de  $D$  se ajustan a la distribución de Poisson (Figs. 8a y 8b). En este caso, la mayoría de los nodos tienen en promedio la misma cantidad de conexiones, al eliminar una fracción crítica de nodos, la red se divide en pequeñas islas incomunicadas (Albert *et al.*, 2002; Barabási & Bonabeau, 2003).

Las redes libres de escala se caracterizan por tener heterogeneidad en el número de conexiones, lo que se traduce en valores diferentes de  $D$ . Estas redes en general son dominadas por unos cuantos nodos altamente conectados, conocidos con el nombre de concentradores, núcleos o *hubs*. Las redes de este tipo son vulnerables a la eliminación dirigida, la cual afecta a nodos con más conexiones (Montoya & Solé, 2002) y robustas a la remoción aleatoria, por desaparecer nodos pobremente relacionados, al ser los más abundantes, sin afectar significativamente la topología de la red. Este tipo de redes se caracteriza porque su distribución de grado nodal sigue la ley de potencia (Figs. 8C y 8D). A diferencia de la distribución de Poisson, no presenta un pico en su valor promedio y con pendientes menos pronunciadas, lo cual implica una mayor probabilidad de obtener acontecimientos extremos (Barabási & Bonabeau, 2003; Newman, 2003; Duncan, 2006).

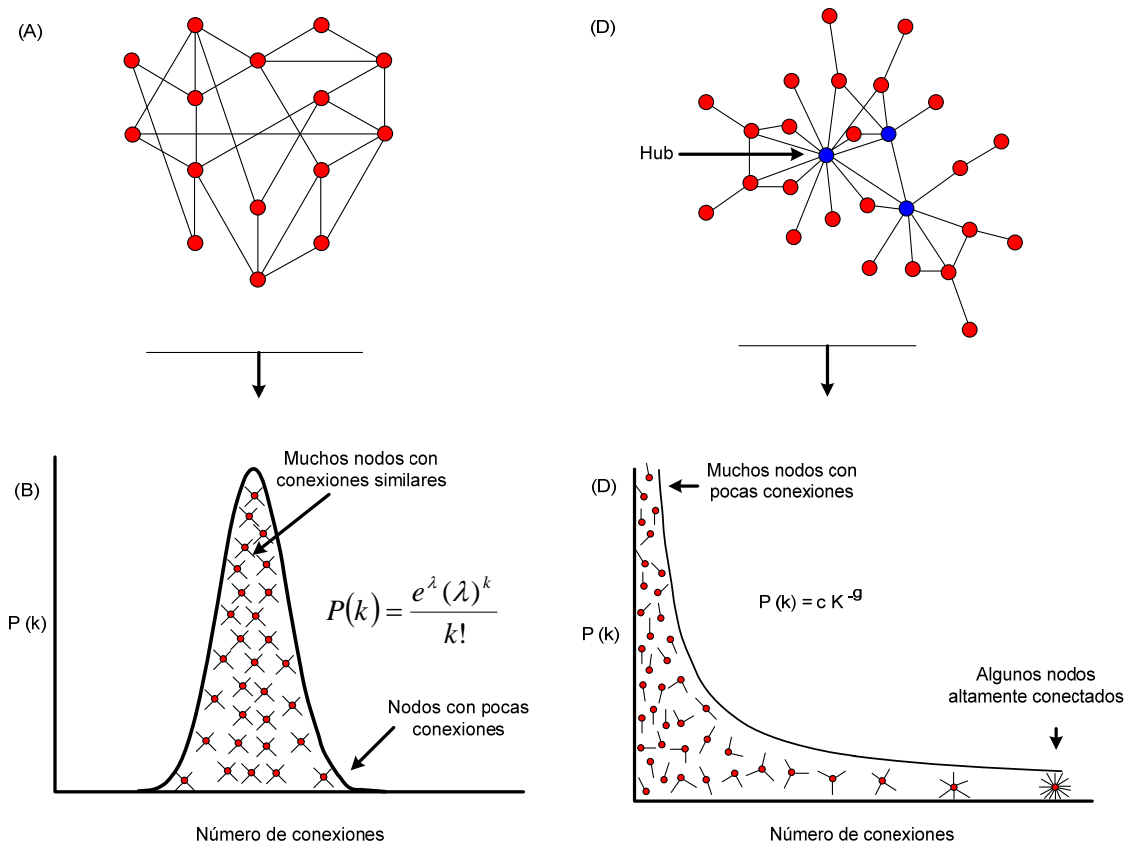


Figura 8. Redes y distribución de grado ajustada a la distribución de Poisson (A y B) y ley de potencia (C y D).  $P(K)$  indica el número de nodos con  $k$  conexiones.

Algunos estimadores de centralidad consideran las longitudes mínimas entre pares de nodos; esto implica determinar las rutas más cortas entre pares de nodos con algoritmos desarrollados en teoría de grafos. Debido a que las redes taxonómicas son no dirigidas y ponderadas, se usó el algoritmo de *primera búsqueda en amplitud* (BFS) propuesto por Jacob *et al.* (2005) para este tipo de redes (*vid.* Anexo 5). Dentro de los índices que consideran las rutas más cortas entre pares de nodos, se estimó para cada época el índice de cercanía ( $CC_i$ ) y el índice de intermediación ( $BC_i$ ).

#### 6.4.2.1.2. Índice de cercanía (CC<sub>i</sub>)

El índice CC<sub>i</sub> se define como la capacidad que tiene un nodo para llegar a todos los elementos de la red. En este enfoque, los miembros de la red más centrales son aquellos que se encuentran a una menor distancia del resto, de tal manera que interactúan rápidamente con pocos intermediarios a otros nodos no adyacentes (Fig. 9); los valores más altos de este índice indican que existe una mayor facilidad de acceso al resto de los miembros de la red (Borgatti *et al.*, 2002). De esta manera, CC<sub>i</sub> es considerada como el recíproco de la suma de las distancias geodésicas ( $d$ ) que unen cada vértice al resto de la red; en virtud de que dichas distancias se consideran como sus lejanías, podemos decir que es el inverso de las lejanías al resto de los elementos que componen la red. La cercanía es estimada mediante la siguiente ecuación:

$$CC_i = \frac{1}{\sum_{k=1}^n d(S_i, S_k)} \quad (19).$$

Donde  $d$  es la distancias geodésicas representadas por las rutas cortas entre nodos  $S_i$  y  $S_k$ .

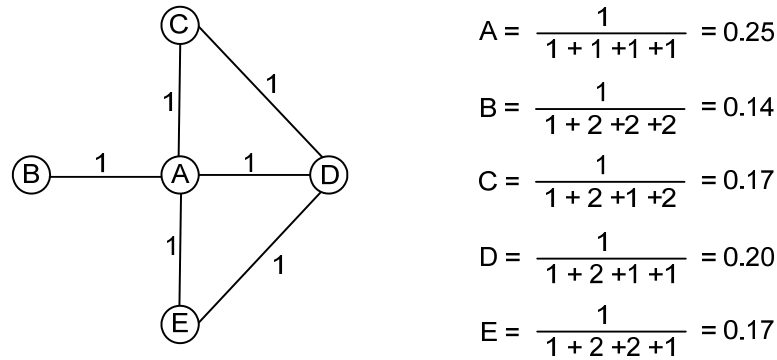


Figura 9. Aproximación de la cercanía de un nodo al resto de la red (tomado de Izquierdo & Hanneman, 2006).

#### 6.4.2.1.3. Índice de intermediación ( $BC_i$ )

El índice  $BC_i$  denota el número de veces que aparece un nodo ( $i$ ), en las rutas más cortas entre otros dos ( $jk$ ) (Molina *et al.*, 2006). Se considera como una medida que enfatiza el control de comunicación entre otros vértices (Koschützki, 2008). Además da una aproximación del nodo como conector dentro de la red; su eliminación podría causar que muchos pares de nodos se desconectarán o que la conexión entre ellos fuera más lejana (Medo & Smrek, 2008). Los nodos con un valor alto de intermediación son importantes y claves, por ser los más centrales de la red o aquellos que vinculan subgrupos o bloques diferentes (subredes) (Izquierdo & Hanneman, 2006).  $BC_i$  se considera como la suma de la relación de las rutas más cortas  $g_{jk}(i)$  que pasan por el nodo ( $i$ ), entre el total de las rutas cortas que existen en los nodos  $j$  y  $k$  ( $BC_i = \sum_{j \neq k \neq i} \frac{g_{jk}(i)}{g_{jk}}$ ; Freeman, 1979);  $BC_i$  se divide entre  $((N-1)(N-2))/2$ , para normalizar el índice (Jordán *et al.*, 2006; Vasas & Jordán, 2006), de tal forma que  $BC_i$  cambia a la siguiente expresión:

$$BC_i = \frac{2 \sum_{j \neq k \neq i} g_{jk}(i) / g_{jk}}{(N-1)(N-2)} \quad (20).$$

#### 6.4.2.2 Indicador de elementos clave.

Con el fin de determinar la importancia de ciertos taxones en las redes taxonómicas se empleó el índice de especies *clave*  $K$  propuesto por Jordán & Scheuring (2004). Este índice determina la importancia de la especie, con la modificación del concepto de estatus introducido por Harary (1959) en la sociometría, el cual considera la diferencia del grado de entrada (*indegree*) y salida (*outdegree*). Los valores del índice pueden ser positivos o negativos, lo que refleja así su importancia dentro de la red (Way *et al.*, 2008).

Para su aplicación ecológica, se añadieron coeficientes que representan la importancia de los efectos de abajo hacia arriba (*bottom up* =  $K_b$ ) y de arriba hacia abajo (*top down* =  $K_t$ ) (Jordán & Scheuring, 2004), de tal forma que el índice de especie clave ( $K_x$ , Ec. 21) se estima de la siguiente manera:

$$K_i = K_b + K_t = \sum_{c=1}^{nc} \frac{1}{dc} (1 + K_{bc}) + \sum_{e=1}^m \frac{1}{fe} (1 + K_{te}) \quad (21).$$

Donde  $nc$  es el número de depredadores de la especie  $i$ ,  $dc$  el número de presas del depredador,  $K_{bc}$  el índice de abajo hacia arriba del depredador,  $m$  el número de presas de la especie  $i$ ,  $fe$  el número de depredadores de la presa y  $K_{te}$  el efecto de arriba hacia abajo de la presa.

Este índice es sensible a la distancia y al grado de conexión; es bidireccional y enfatiza las interacciones verticales sobre las horizontales (Jordán, 2005; Vasas & Jordán, 2006; Scotti, 2007); es adecuado para caracterizar el efecto de arriba hacia abajo (*top down*) y de abajo hacia arriba (*bottom up*) (Jordán *et al.*, 1999); sin embargo, el cálculo del índice es inverso al efecto (Fig. 10).

Para calcular el índice se usó el programa de “índices estructurales del análisis de redes tróficas” (IEART v1.0, *vid.* Código fuente anexo 3), diseñado para determinar la especie clave en redes tróficas; sin embargo, el algoritmo permite construir redes tipo árbol y obtener el valor del índice, sin alterar la estructura lógica del programa. No obstante, para hacer el proceso más rápido, la matriz de adyacencia taxonómica generada en SICAMA, es importada en IEART para determinar el índice de especie clave K.

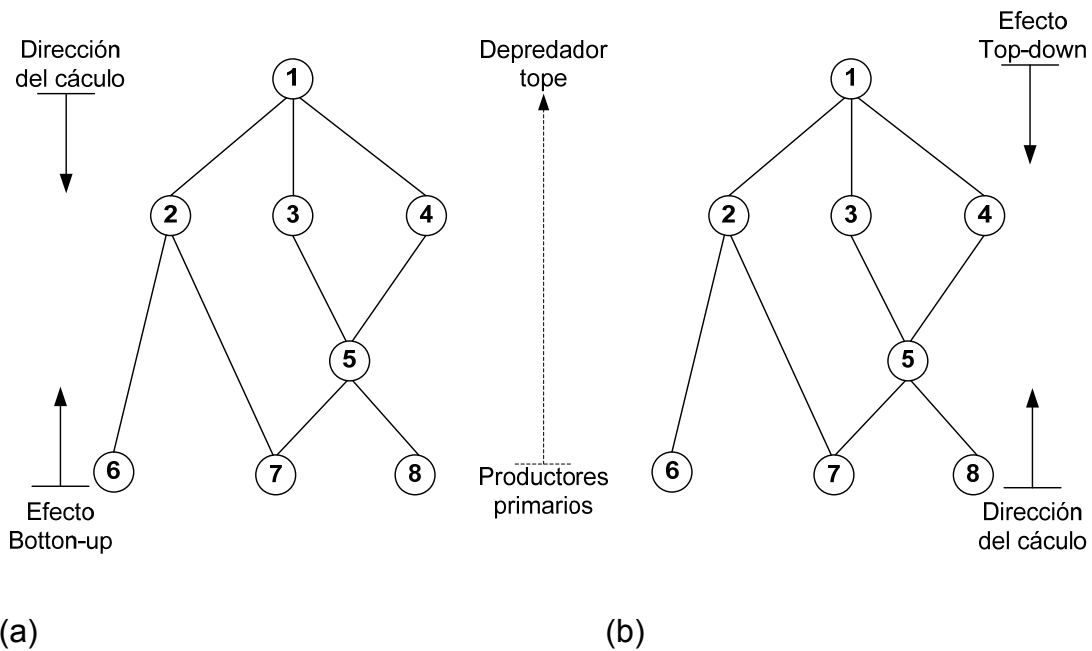


Figura 10. Esquema conceptual de la dirección de los efectos y cálculos correspondientes del índice de especie clave K. Ejemplo hipotético de red trófica tomado de Jordán *et al.* 1999.

#### 6.4.3. Ajuste de frecuencias de los índices topológicos a una red libre de escala.

Algunos autores han sugerido que las estructuras taxonómicas y otros sistemas biológicos siguen ciertamente una distribución de ley de potencia (libre de escala); es decir, existen pocos vértices con muchas conexiones y muchos vértices con pocas conexiones (Ibáñez & Ruiz, 2006).

Para probar el ajuste de distribución de los valores de los índices de grado, intermediación, cercanía y especie clave  $K$ , de los árboles taxonómicos, se probó el ajuste a un modelo potencial ( $P(K) = cK^{-\gamma}$ ), con una regresión no lineal, disponible en Statistica© 8.0, mediante el método de Levenberg-Marquardt, con un máximo de 10,000 iteraciones. El ajuste es importante porque el tipo de distribución de frecuencia revela características topológicas de la red (p. ej., heterogeneidad y vulnerabilidad de la red) (Solé & Montoya, 2001; Dunne *et al.*, 2002a, 2002b; Montoya & Solé, 2002; Dorogotsev & Mendes, 2003; Steuer & Zamora, 2008).



## 7. RESULTADOS

### 7.1. Estructura de la comunidad de peces.

En total, en las dos épocas a comparar, se identificaron 18 635 ejemplares de 138 especies que se agrupan en 92 géneros 50 familias, 17 órdenes y dos clases (93.48% de Actinopterygii y 6.52% de Chondrichthyes). Se encontró que ambas épocas comparten 34.78% del total de las especies identificadas en el estudio.

Los patrones de riqueza de especies (S), diversidad (H') y equidad (J) fueron distintos en ambas épocas de estudio. En la temporada 1994-1995 se encontraron valores altos de S y H' en el verano (septiembre) y menores durante diciembre, abril y junio de 1994-1995. Para 2006-2007, la tendencia de estos atributos fue relativamente menos variable (Figs. 11a y 11b). La equidad fluctuó de 0.76 a 0.82 en los cruceros de 1994-1995, con valores altos en diciembre y junio. En contraste, en 2006-2007 fue menor de 0.7 a 0.74, con altos valores al inicio de la temporada de camarón (diciembre y septiembre; Fig. 11c). Sin embargo, al considerar ambas épocas como muestras a comparar, la diversidad presentó una tendencia contraria a la riqueza; la diversidad con 83 especies fue mayor en 1994-1995 (4.849 bits Ind.<sup>-1</sup>) que en 2006-2007 (4.697 bits Ind.<sup>-1</sup>), debido a la disposición de la abundancia en las especies. La prueba *t* de Hutchenson reveló que la diferencia obtenida en la diversidad entre épocas fue significativa ( $p < 0.001$ ; Fig. 11d).

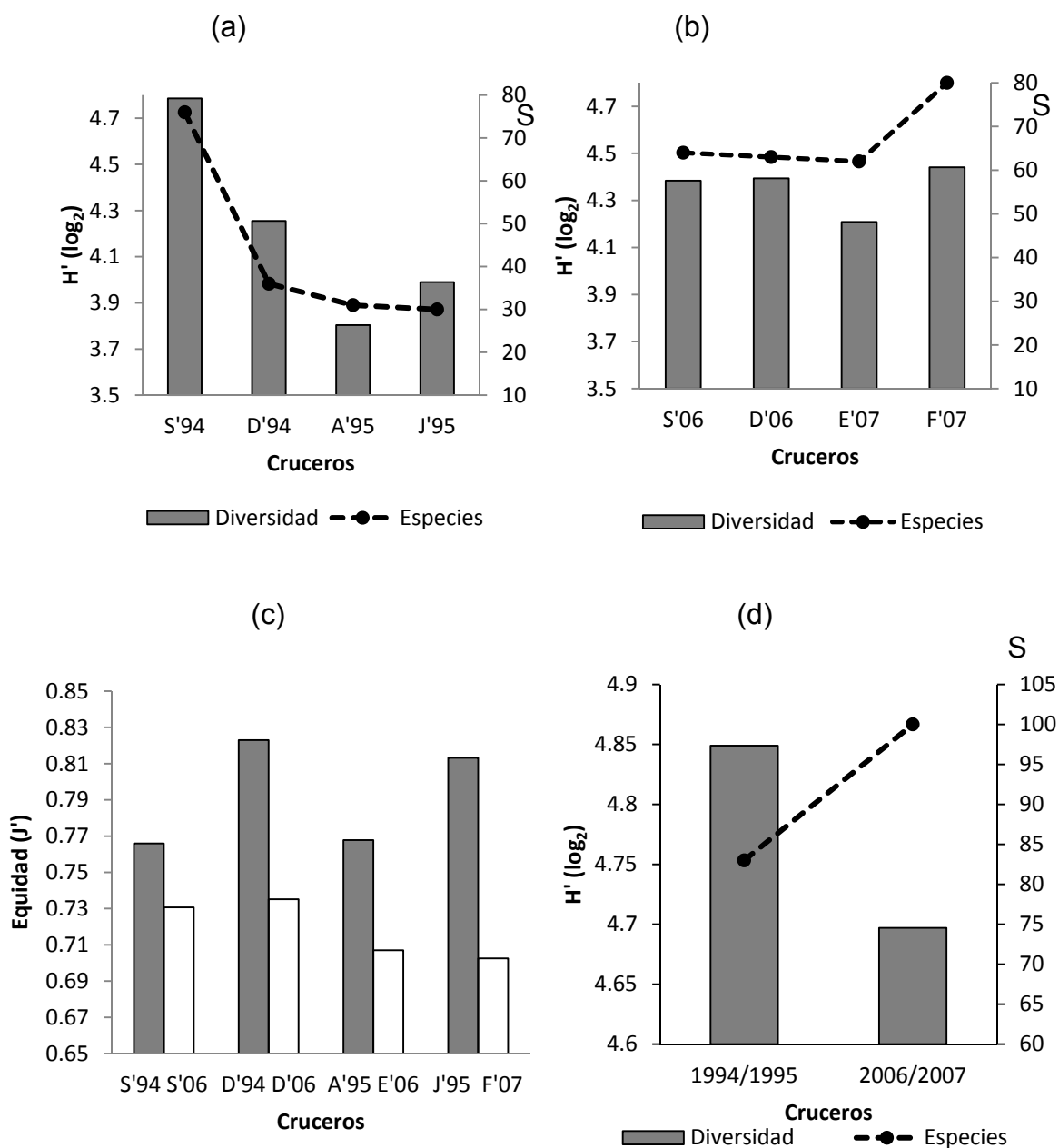


Figura 11. Atributos de la comunidad de peces de las épocas 1994-1995 y 2006-2007. a: Diversidad y riqueza de 1994-1995; b: Diversidad y riqueza de 2006-2007; c: Equidad de ambas épocas; d: Diversidad y riqueza por época; S: Septiembre; D: Diciembre; A: Abril; E: Enero; J: Junio, F: Febrero; 94:1994; 95:1995; 06: 2006 y 07:2007.

Las especies dominantes, identificadas con el índice de Valor Biológico de Sanders (IVB) fueron la cabrilla *Diplectrum pacificum* (5.5%), la mojarra *Eucinostomus dowii* (5.10%) y el lenguado *Etropus crossotus* (4.97%) en 1994-1995, y los bagres *Cathorops spp.* (7.08%), el ronco *Haemulopsis axillaris* (6.28%) y el chivo *Pseudupeneus grandisquamis* (5.89%) para 2006-2007 (vid. Anexo 4). En la figura 12 se aprecia un cambio en la composición y dominancia de especies, al hacer el contraste de ambas épocas, respetando el orden de importancia de 1994-1995; es evidente que ciertas especies dominantes en 1994-1995 (p. ej., *D. pacificum*, *E. dowii* y *Menticirrhus nasus*) no lo son en 2006-2007. Sin embargo, algunas aumentaron (p. ej., *Selene peruviana*, *Chloroscombrus orqueta* y *P. grandisquamis*) o disminuyeron su dominancia (p. ej., *Prionotus stephanophrys*, *Synodus scituliceps* y *Bellator loxias*).

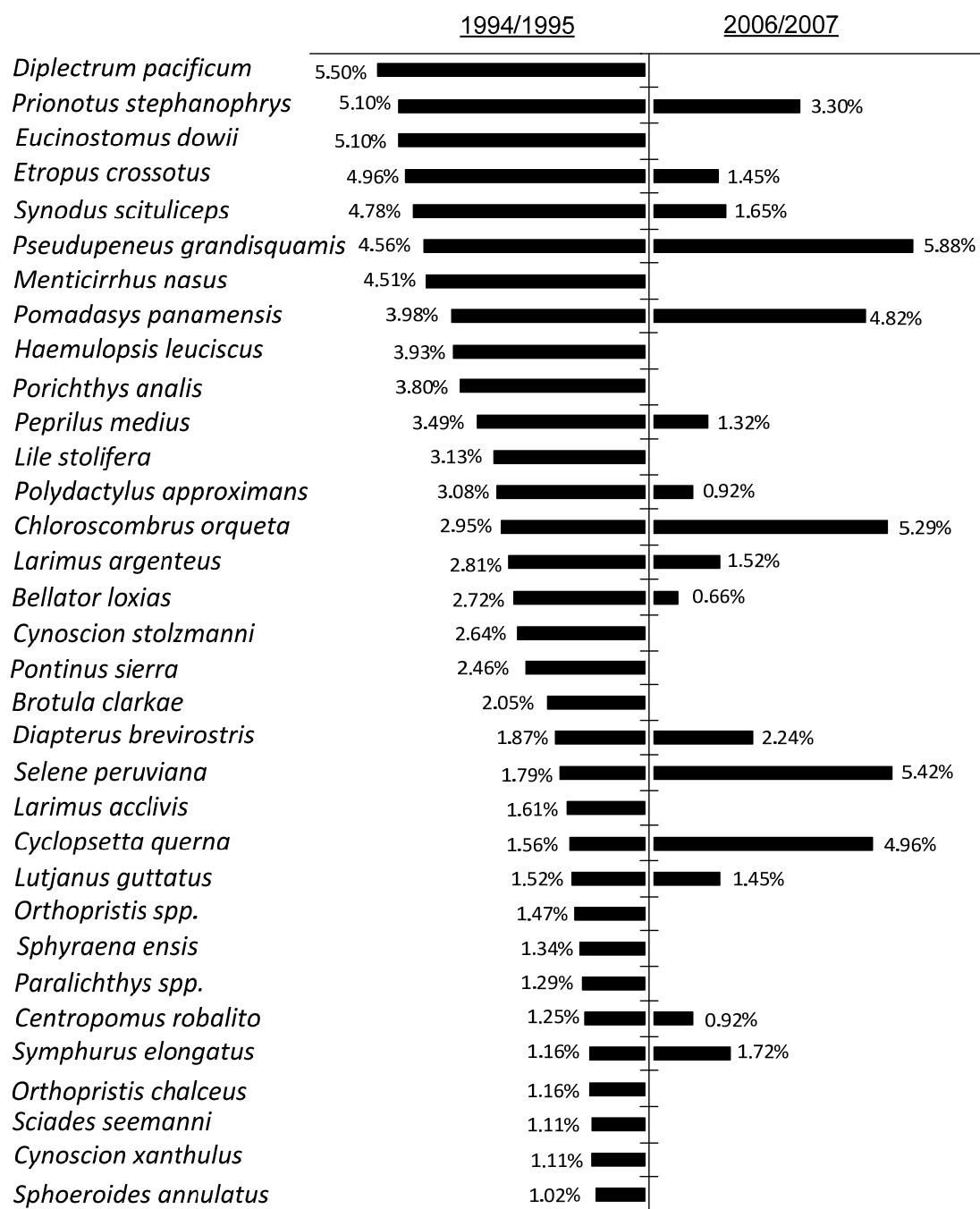


Figura 12. Composición y dominancia de especies de peces expresado en porcentaje de aporte del índice de Valor Biológico de Sanders (IVB) de especies comunes en ambas épocas.

### 7.1.1. Análisis de similitud.

El análisis SIMPER demostró que la composición y abundancia de la fauna íctica acompañante en los cruceros de 1994-1995, en promedio se parecen en 61.94%; las especies con mayor aporte individual de similitud fueron, *D. pacificum* (6.59%), *S. scituliceps* (5.78%) y *E. crossotus* (5.77%). Para 2006/2006, los cruceros mostraron una similitud promedio de 70.26%; las especies que caracterizan esta semejanza fueron, *Cathorops spp.* (5.28%), *H. axillaris* (4.75%) y *P. grandisquamis* (4.35%). En total, fueron 83 especies discriminantes que tipifican 62.68% de disimilitud promedio entre las épocas; las principales diferencias fueron aportadas por *Cathorops spp.* (3.45%), *H. axillaris* (3.12%) y *Syacium ovale* (2.91%) (vid. Anexo 4). El análisis de similitud obtenido con la rutina ANOSIM, indica que existen diferencias en la estructura de la comunidad entre las épocas ( $R = 1$ ,  $p = 0.029$ ).

### 7.2 Curvas de abundancia-biomasa.

La comparación de curvas de abundancia y biomasa (Fig. 13) indicó que existe un estrés moderado en todos los meses analizados, ya que la curva de abundancia se encuentra por encima de la de biomasa, escenario propio de ambientes con perturbación provocado por cambios ambientales o antropogénicos. A pesar de la diferencia en la riqueza de especies entre las épocas, la separación de las curvas de 1994-1995 (Figs. 13b, 13c y 13d) fue más estrecha que las observadas en 2006-2007, excepto en septiembre (Figura 13e). A consecuencia de esta condición, ambas épocas mostraron diferencia en el intervalo de especies al 50% de la dominancia acumulada; ambos sucesos se deben a los valores cercanos a cero del estadístico  $W$ . Al comparar el valor medio de  $W$  de las épocas ( $\bar{W} = -0.083$ , para 1994-1995 y  $\bar{W} = -0.150$ , para 2006-2007; Figs. 13 i, 13j), se encontró diferencia significativa ( $t = 2.942$ ;  $p = 0.026$ ).

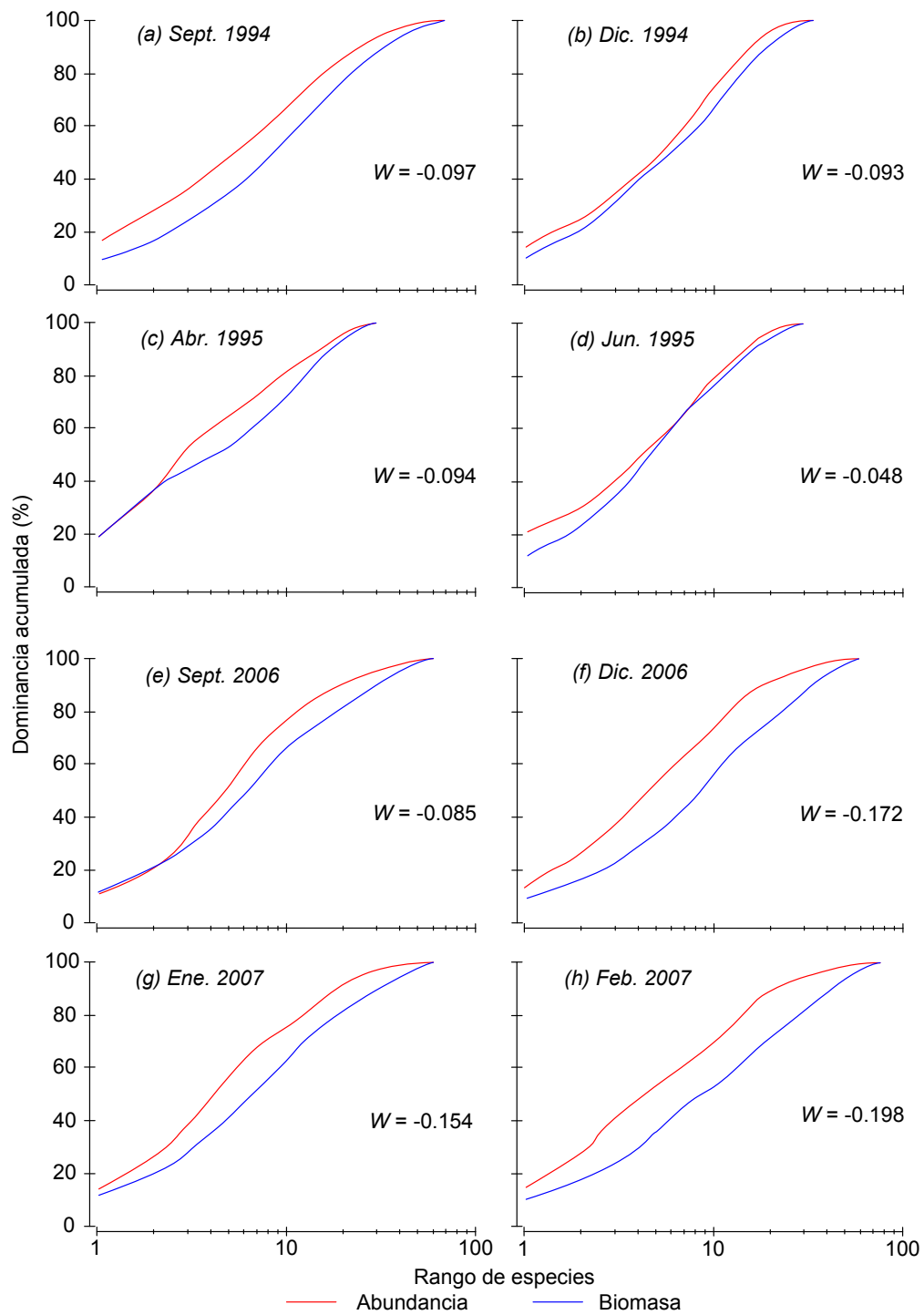


Figura 13. Curvas acumuladas de abundancia y biomasa de peces asociados a la captura de camarón en la costa sur de Sinaloa, en cruceros realizados durante 1994-1995 (a, b, c y d,) y 2006-2007 (e, f, g y h).

### 7.3 Diversidad taxonómica.

Los patrones de la distinción taxonómica ( $\Delta^*$ ) fueron diferente en ambas épocas. En 1994-1995 mostró una variabilidad amplia en su tendencia con un valor elevado en abril (Fig. 14a); durante la época 2006-2007, la  $\Delta^*$  mostró un incremento gradual a medida que transcurrió la temporada de pesca de camarón (Fig. 14b).

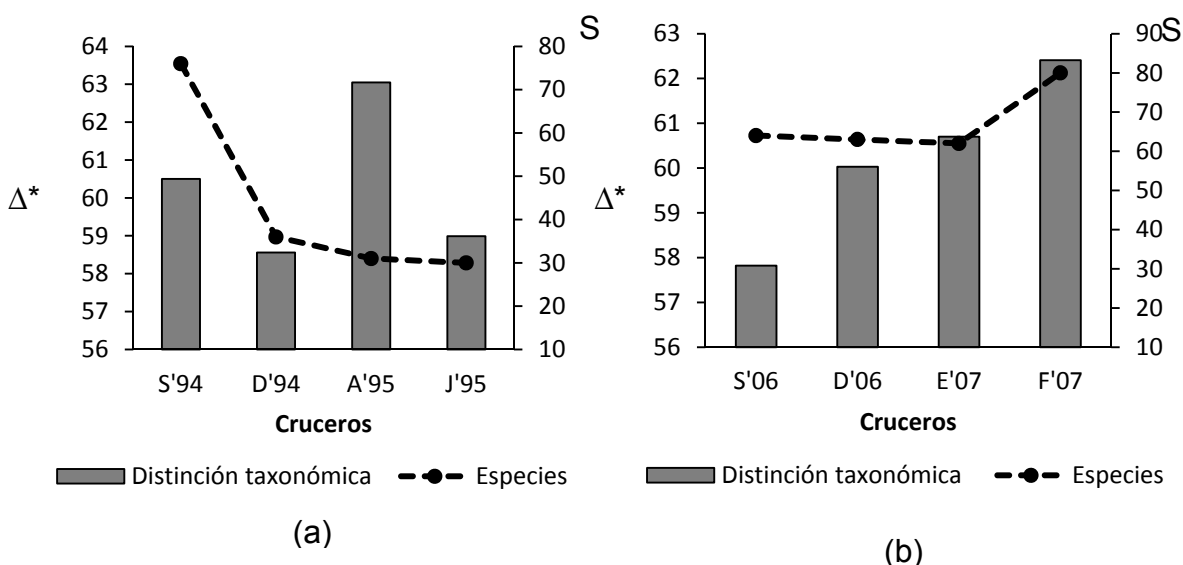


Figura 14. Distinción taxonómica y riqueza de especies de cruceros realizados en la temporada de pesca de camarón 1994-1995 (a) y 2006-2007 (b). Símbolos de cruceros definidos en la figura 11.

Los valores de la distinción taxonómica promedio ( $\Delta^+$ ), cayeron dentro de la distribución esperada. Los valores obtenidos en 1994-1995 tienden a estar próximos al límite de la distribución, principalmente septiembre ( $p = 0.064$ ), seguido de abril ( $p = 0.088$ ), con excepción de junio ( $p = 0.617$ ), que a pesar de tener menor número de especies que el resto de los cruceros, obtuvo una mayor distinción taxonómica promedio. En tanto, los valores de 2006-2007 se encontraron cercanos a la media estimada (Fig. 15a), con un nivel de significación que va de 0.39 a 0.907. A consecuencia de la alta complejidad, el crucero realizado en el mes de enero alcanzó

la significación más alta. El contraste de  $\Delta^+$  por época confirma el patrón observado en los cruceros, sin embargo es más contundente la diferencia entre las épocas, debido a que el valor de la  $\Delta^+$  en la época 2006-2007 fue alto y próximo a la media esperada ( $\Delta^+ = 63.69$ ,  $p = 0.666$ ), contrario a la época 1994-1995 por ubicarse en el límite de la zona de rechazo de la hipótesis nula ( $\Delta^+ = 61.34$ ,  $p = 0.058$ ; Fig. 15b).

Asimismo, en la variación de la distinción taxonómica promedio ( $\Lambda^+$ ), los cruceros cayeron dentro de la distribución de probabilidad esperada, pero bajo el promedio estimado; excepto febrero de 2006-2007 ( $\Lambda^+ = 111.27$ ;  $p = 0.014$ ), por caer fuera del límite de confianza, al presentar una  $\Lambda^+$  menor a la obtenida en la simulación. Por lo tanto, para este crucero se rechaza la hipótesis nula (Fig. 15c), debido a que existe una alta equidad en la distinción taxonómica entre especies de peces asociados a fondos blandos.

La comparación de medias reveló diferencias en  $\Delta^+$  obtenida entre las épocas ( $t = -2.880$ ;  $p = 0.028$ ). Sin embargo, la diferencia en  $\Lambda^+$  entre 1994-1995 y 2006-2007 no fue suficientemente grande, para ser considerada como significativa (Mann-Witney,  $p = 0.20$ ). En general, esto indica que pese a su mayor complejidad taxonómica la época 2006-2007, en promedio tiene afinidad en la variación taxonómica con la época 1994-1995.

Los valores altos de  $\Delta^+$  y  $\Lambda^+$ , que indican una mayor complejidad taxonómica, los cuales se presentaron durante enero, septiembre y diciembre de 2006-2007, seguidos de junio de 1994-1995 para  $\Delta^+$  y septiembre para  $\Lambda^+$  (Fig. 15). No obstante, al graficar  $\Delta^+$  y  $\Lambda^+$ , se observa que todos los cruceros caen dentro de los contornos de probabilidad de 95% de confianza, excepto febrero de 2006-2007 (Fig. 16), por tener una variación significativa en la estructura taxonómica con respecto a la esperada, como consecuencia de la similitud en la distancia taxonómica entre las especies de peces.



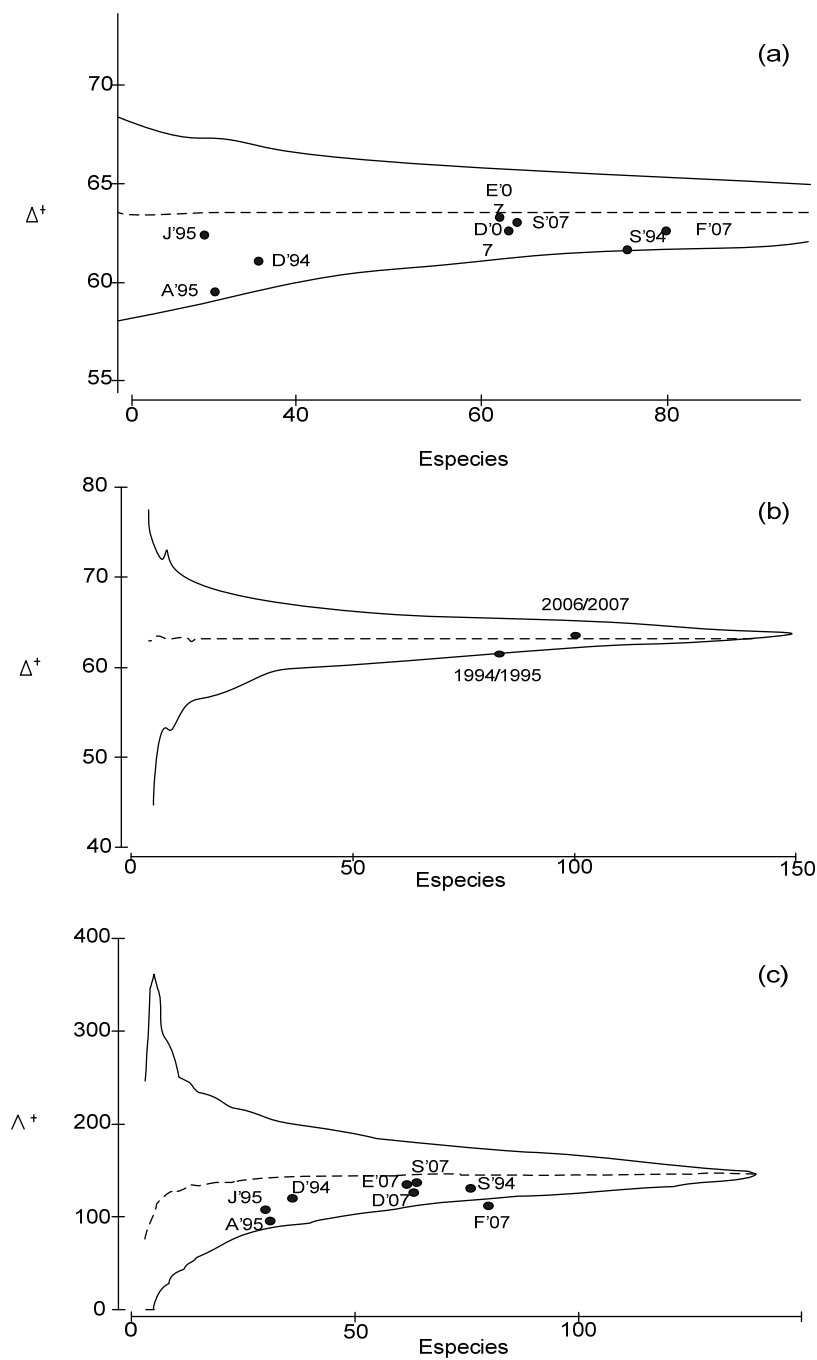


Figura 15. Distribución de probabilidad obtenida con 1000 sub-muestras aleatorias de  $n$  especies de la matriz madre y valores de  $\Delta^+$  por crucero (a), época (b) y  $\Lambda^+$  por crucero (c). Los valores observados en cada crucero se representan por los puntos negros. Símbolos de cruces definidos en la figura 11.

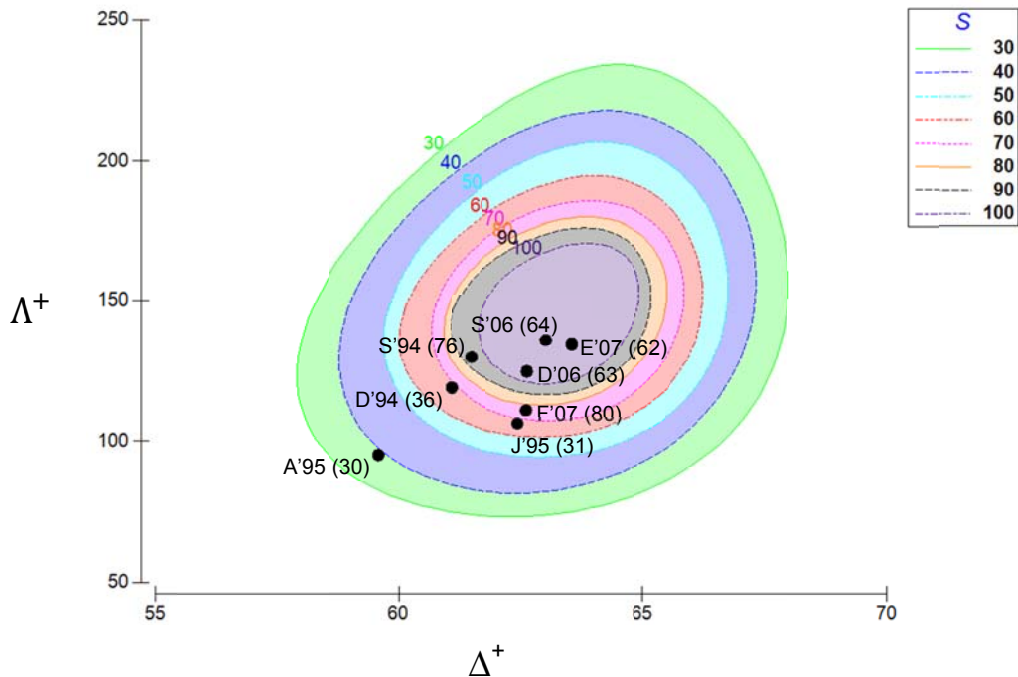


Figura 16. Contornos de probabilidad a 95% de confianza, obtenidos con 1000 simulaciones. El valor entre paréntesis representa las especies encontradas en el crucero; los puntos negros simbolizan los cruces y las líneas de color son los contornos de probabilidad de la riqueza de especies (S) para cada sub muestra. Símbolos de cruces definidos en la figura 11.

### 7.3.1 Disimilitud taxonómica

La composición taxonómica de los cruces de ambas épocas hace que la disimilitud identifique dos grupos. Con una disimilitud 7.89%, un grupo está integrado por los cruces de diciembre, abril y junio de 1994-1995, mientras que el otro integrado por los cruces de 2006-2007 y septiembre de 1994-1995 con una disimilitud de 16.36% (Fig. 17). Sin embargo, en promedio los cruces de la época 2006-2007 muestran una mayor afinidad taxonómica que la época 1994-1995, al presentar una disimilitud promedio de 9.98%. El análisis estadístico de similitud (ANOSIM) demostró que la diferenciación entre los grupos fue significativa ( $R = 0.854$ ;  $p = 0.029$ ).

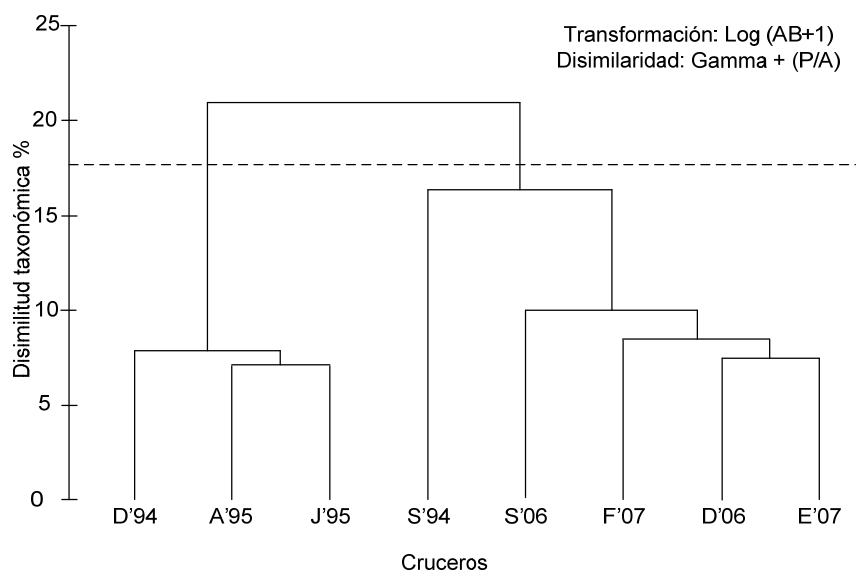


Figura 17. Aglomeración jerárquica de disimilitud taxonómica de la comunidad de peces de 1994-1995 y 2006-2007. Símbolos de cruceros definidos en la figura 11.

#### 7.4 Organización de la comunidad.

##### 7.4.1 Indicadores Globales.

Se obtuvieron los árboles taxonómicos de las dos épocas en los que se agrupó a 138 especies, clasificadas en 6 jerarquías taxonómicas (Phylum, Clase, Orden, Familia, Género y Especie). En total, el árbol taxonómico de la matriz madre tuvo 300 taxones, mientras que para 1994-1995 alcanzó 203, y 2006-2007 fue constituida por 245 taxones (Fig. 18).

La complejidad de taxones determinada por la diferenciación topológica fue distinta, para la época de 1994-1995 fue de 71.97, y en 2006-2007 fue de 88.08 (Fig. 19). La prueba de hipótesis Kruskal-Wallis al comparar las series de valores de cada época, demostró diferencia significativa ( $p < 0.05$ ).

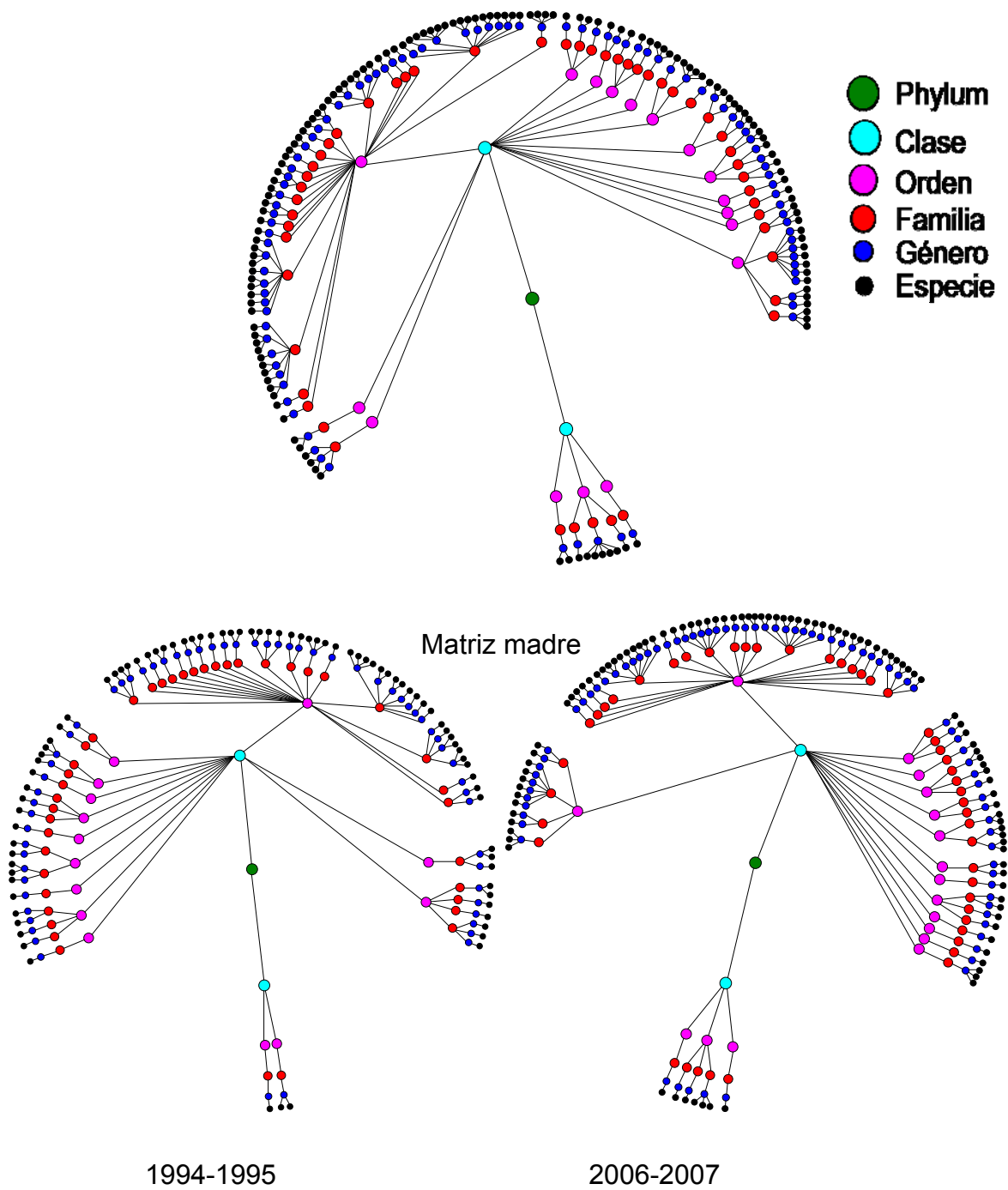


Figura 18. Árboles taxonómicos construidos con la matriz de adyacencia con el programa SICAMA 1.0.

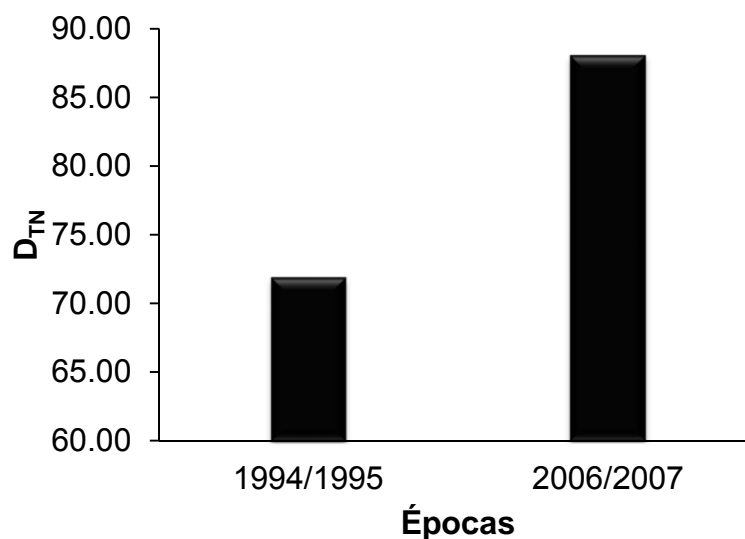


Figura 19. Diferenciación topológica de redes no cíclicas obtenidas a partir de elencos sistemáticos de dos épocas.

#### 7.4.2 Indicadores locales.

La identificación de los taxones importantes en los árboles de ambas épocas presentó cierta similitud. Tanto en 1994-1995 como en 2006-2007, los dos taxones de importancia a nivel de Phylum, fueron el orden Perciformes, seguido de la clase *Actinopterygii*, según el índice de grado; aunque el orden se invierte en función de los índices de centralidad ( $BC_i$ , y  $CC_i$ ) y el de especie clave K. En general, los índices detectan los mismos taxones como los elementos importantes, aunque el índice de especie clave K produce menor cantidad de taxones con el mismo valor de K en el arreglo de taxones.

Al hacer el contraste del arreglo de taxones a nivel de orden obtenido a partir del índice de grado, se identificó a la orden Perciformes en ambas épocas. Asimismo, se encontró discrepancias con los índices de centralidad y el índice de especie clave K, principalmente en el orden *Scorpaeniformes*, por la alta conectividad que presentan sus dos familias, en contraste con el orden *Lophiiformes* que resultó con menor conectividad por estar representado con menos especies. En ambas épocas, en el taxón correspondiente a Familia, estos índices identificaron a las mismas familias, con la diferencia que los índices de intermediación, cercanía y especie clave K, discriminaron taxones que tienen el mismo índice de grado, de este modo se identificó como importantes a la familia Sciaenidae seguida de Haemulidae y Carangidae en 1994/ 1995 y a Carangidae seguida de la familia Sciaenidae para 2006-2007.

En general, estos índices mostraron la misma capacidad para diferenciar taxones; a medida que disminuye la centralidad aumenta la posibilidad de encontrar taxones con el mismo valor (Figs. 20, 21 y 22). A diferencia de estos índices, el índice de especie clave K mostró más sensibilidad a nivel de orden y familia, con cierta semejanza en la tendencia de los índices de intermediación y cercanía en la categoría de género, por presentar el mismo valor de K en *Peprilus*, *Polydactylus*, *Sciades*, *Scomberomorus* y *Lutjanus* ( $K = 3.062$ , para 1994-1995 y 2006-2007). De acuerdo al índice de especie clave K, en la categoría de géneros se identificó como importantes a *Urotrygon*, *Sphoeroides*, *Cynoscion* y *Lutjanus* en 1994-1995, mientras que para el periodo 2006-2007 los géneros de importancia fueron *Synodus*, *Urotrygon*, *Sphoeroides*, *Symphurus* y *Scorpaena*.

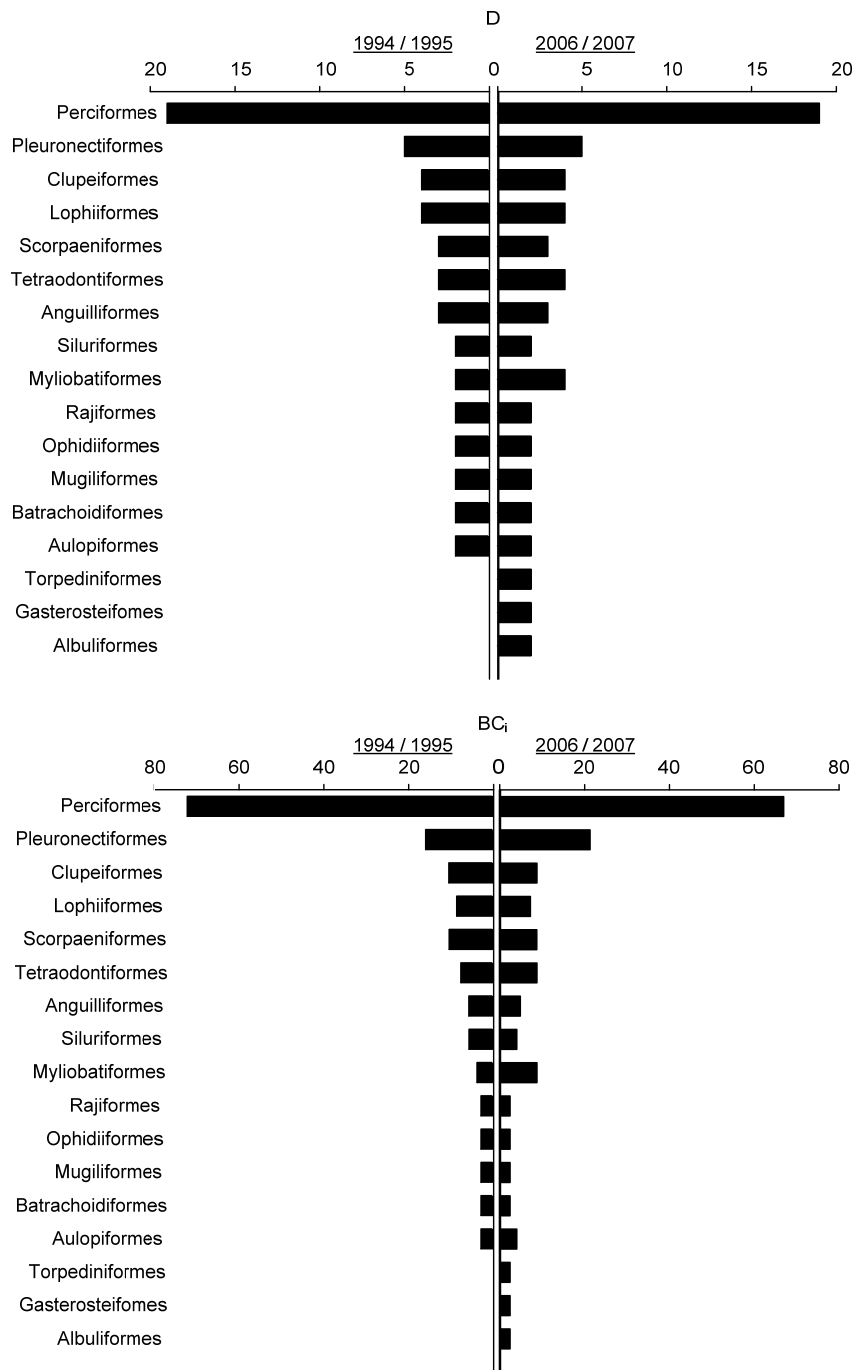


Figura 20. Indicadores topológicos para la categoría de orden de 1994-1995 y 2006/ 2007. D: Grado, BC<sub>i</sub>: Intermediación, CC<sub>i</sub>: Centralidad, K: Especies clave K y D<sub>TN</sub>: Diferenciación topológica.

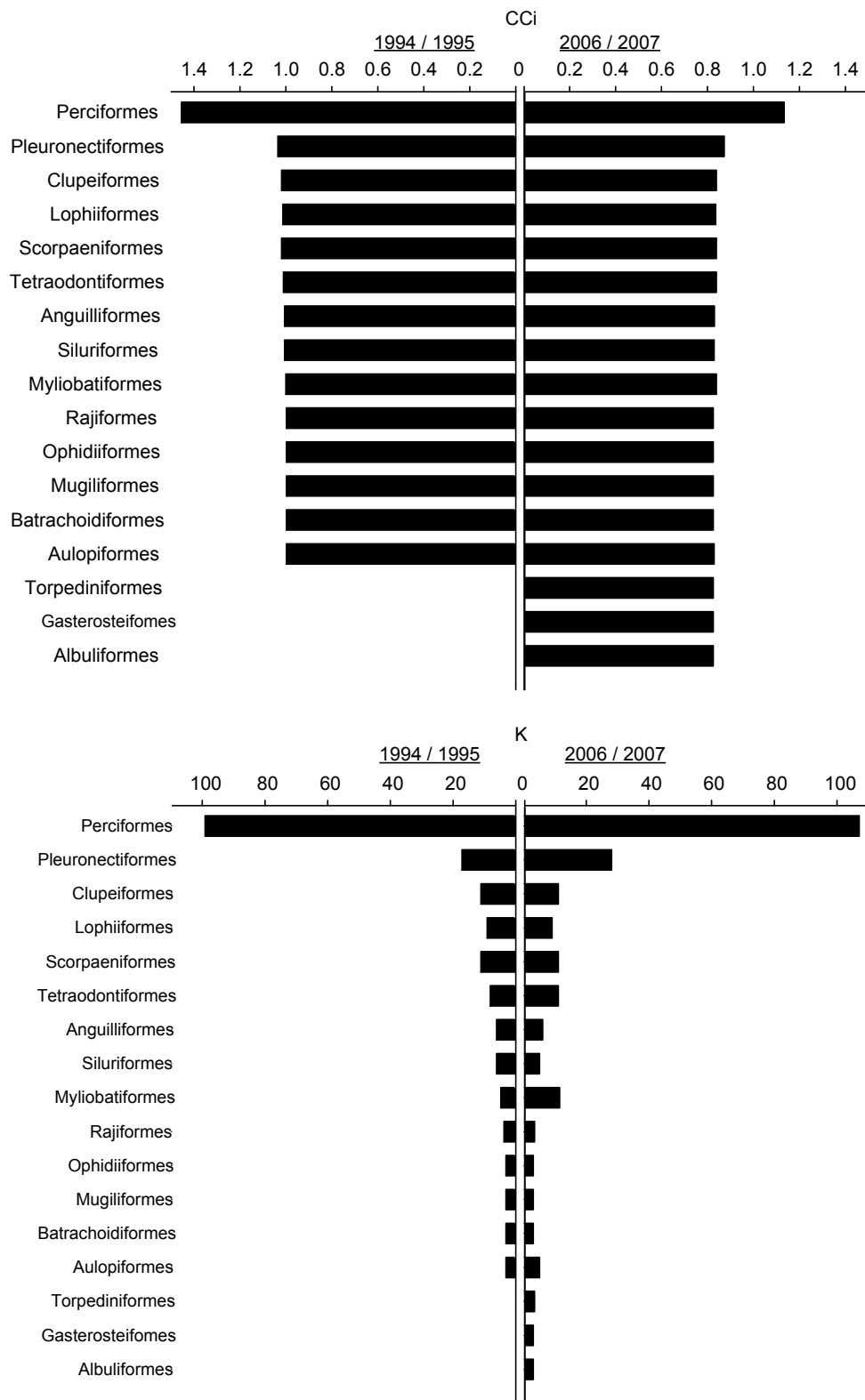


Figura 20. (Continuación).



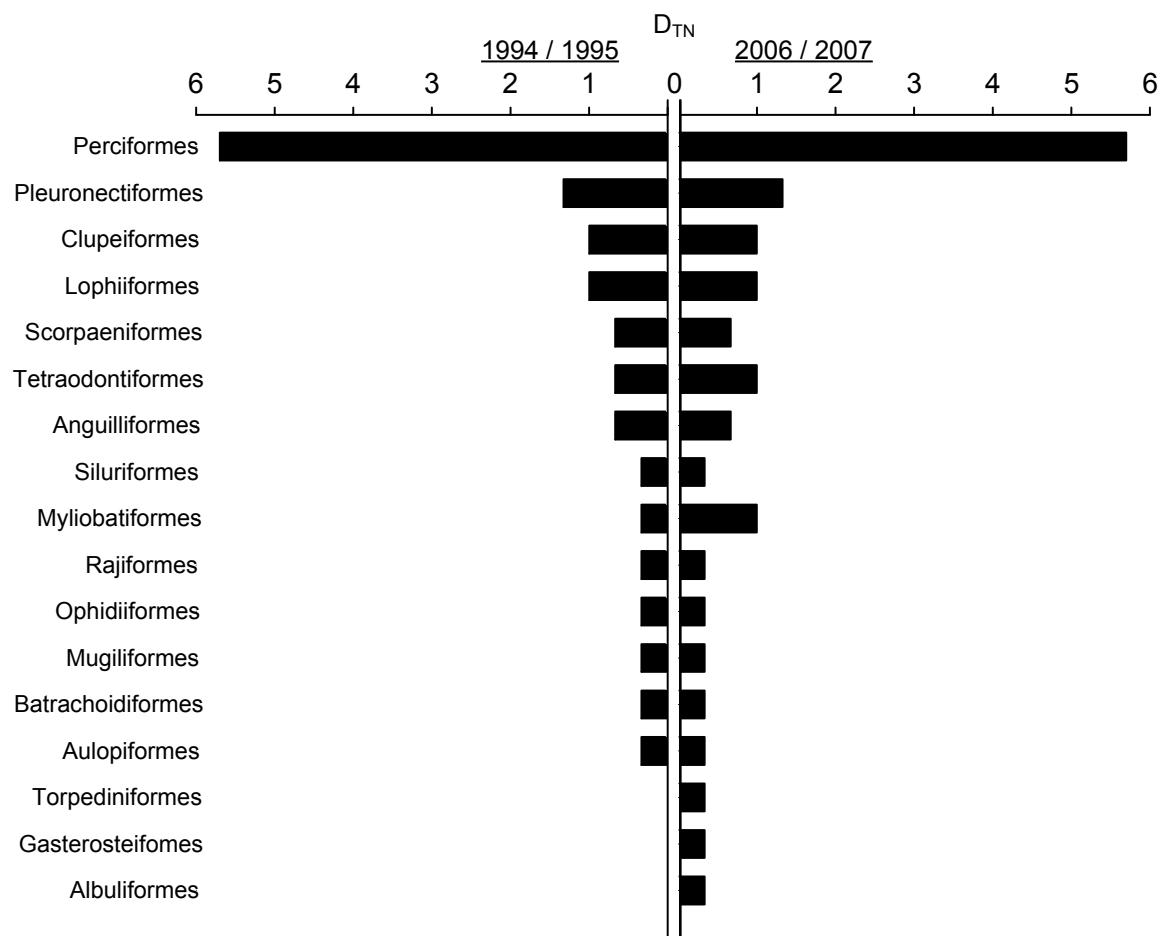


Figura 20. (Continuación)

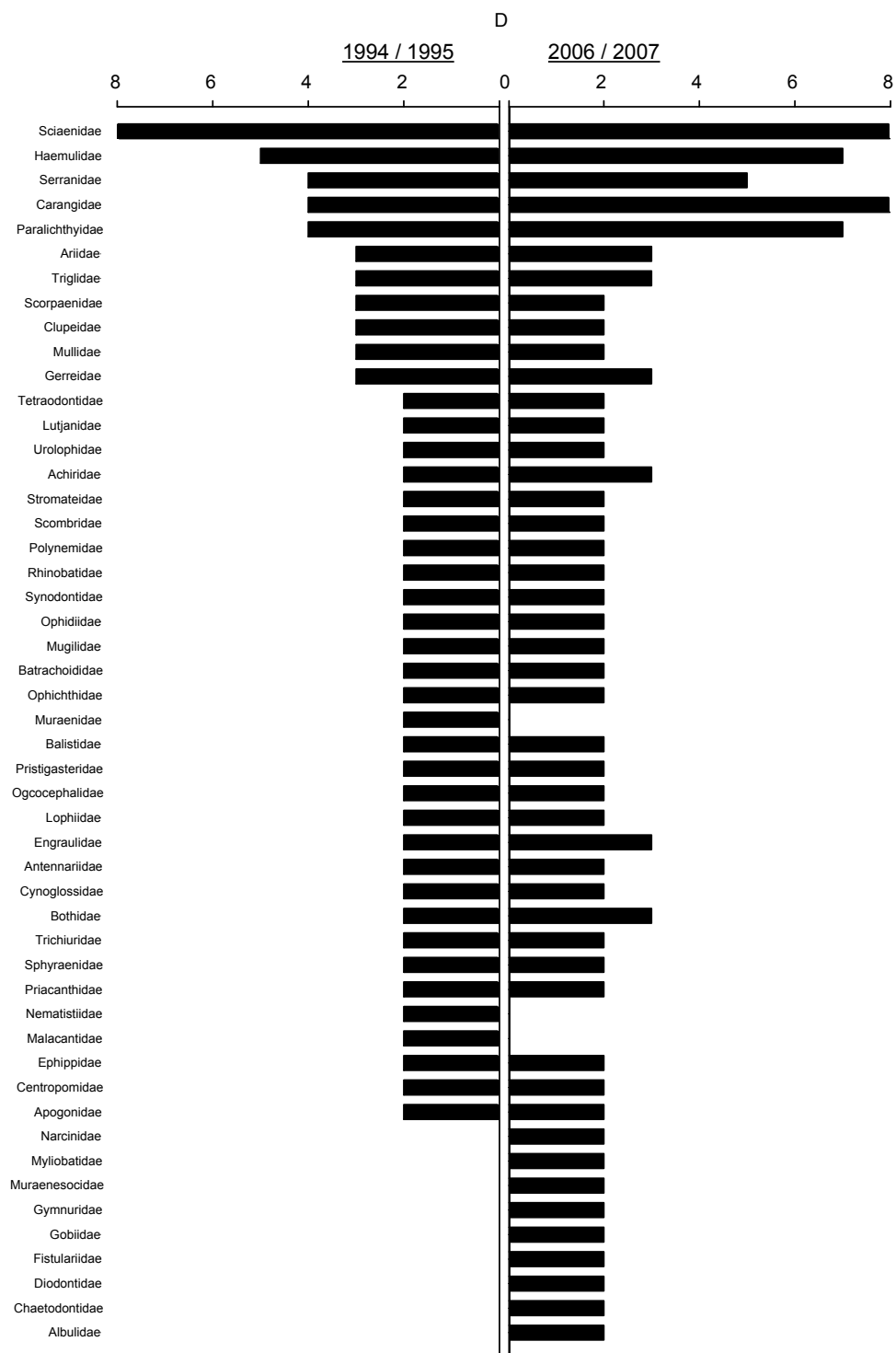


Figura 21. Indicadores topológicos para la categoría de familia de 1994-1995 y 2006/ 2007. D: Grado,  $BC_i$ : Intermediación,  $CC_i$ : Centralidad, K: Especies clave K y  $D_{TN}$ : Diferenciación topológica.

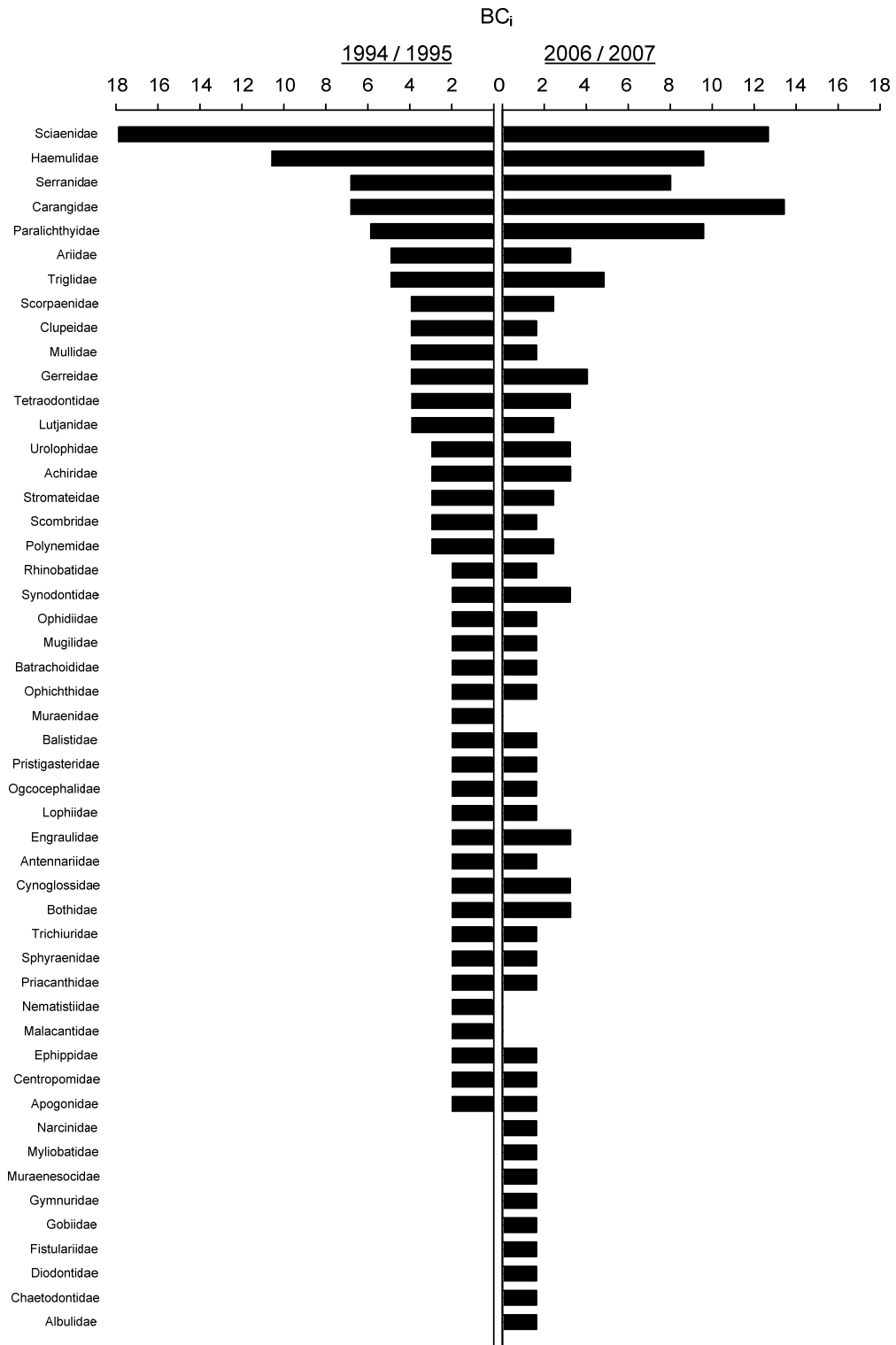


Figura 21. (Continuación).

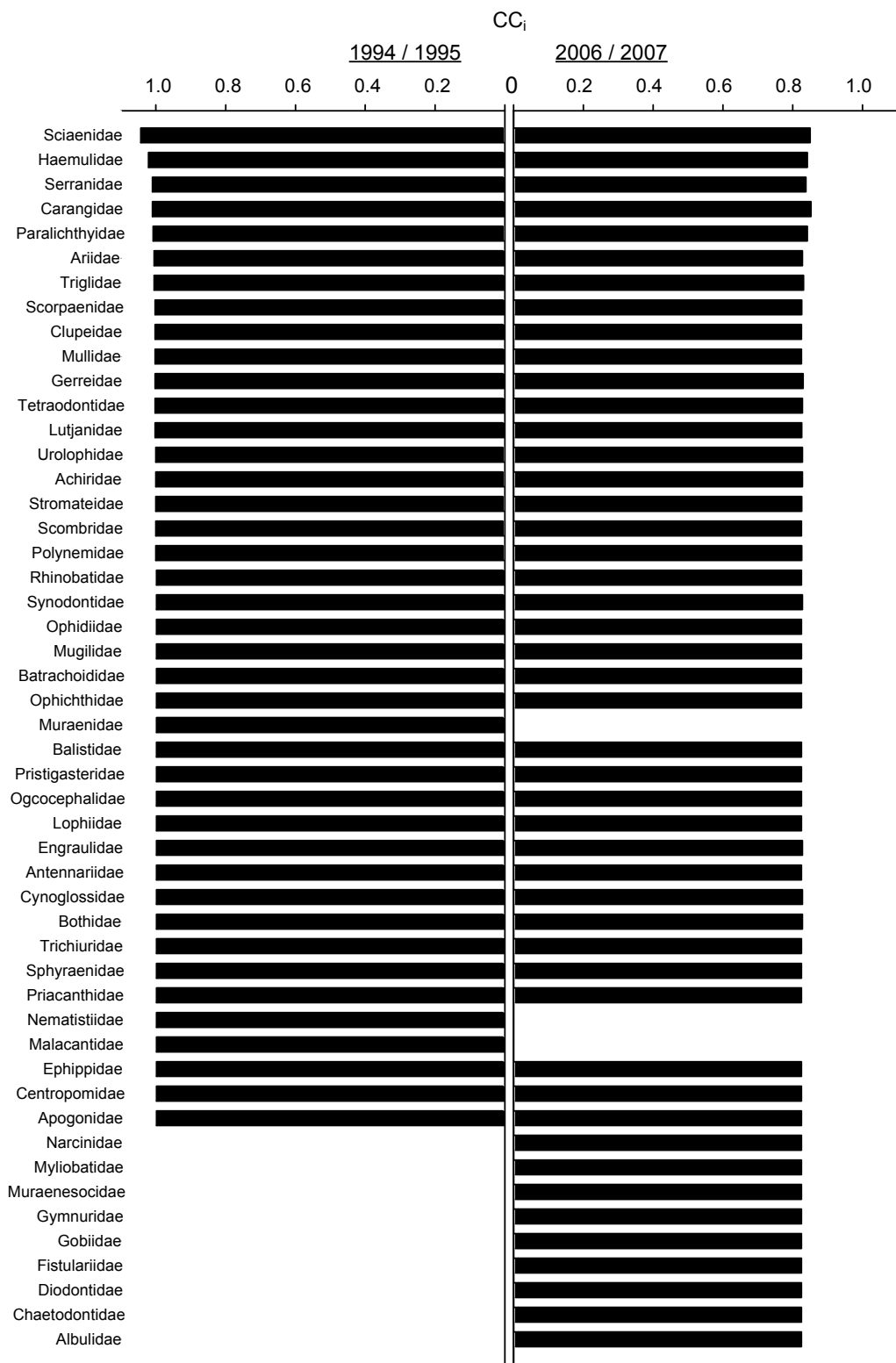


Figura 21. (Continuación).

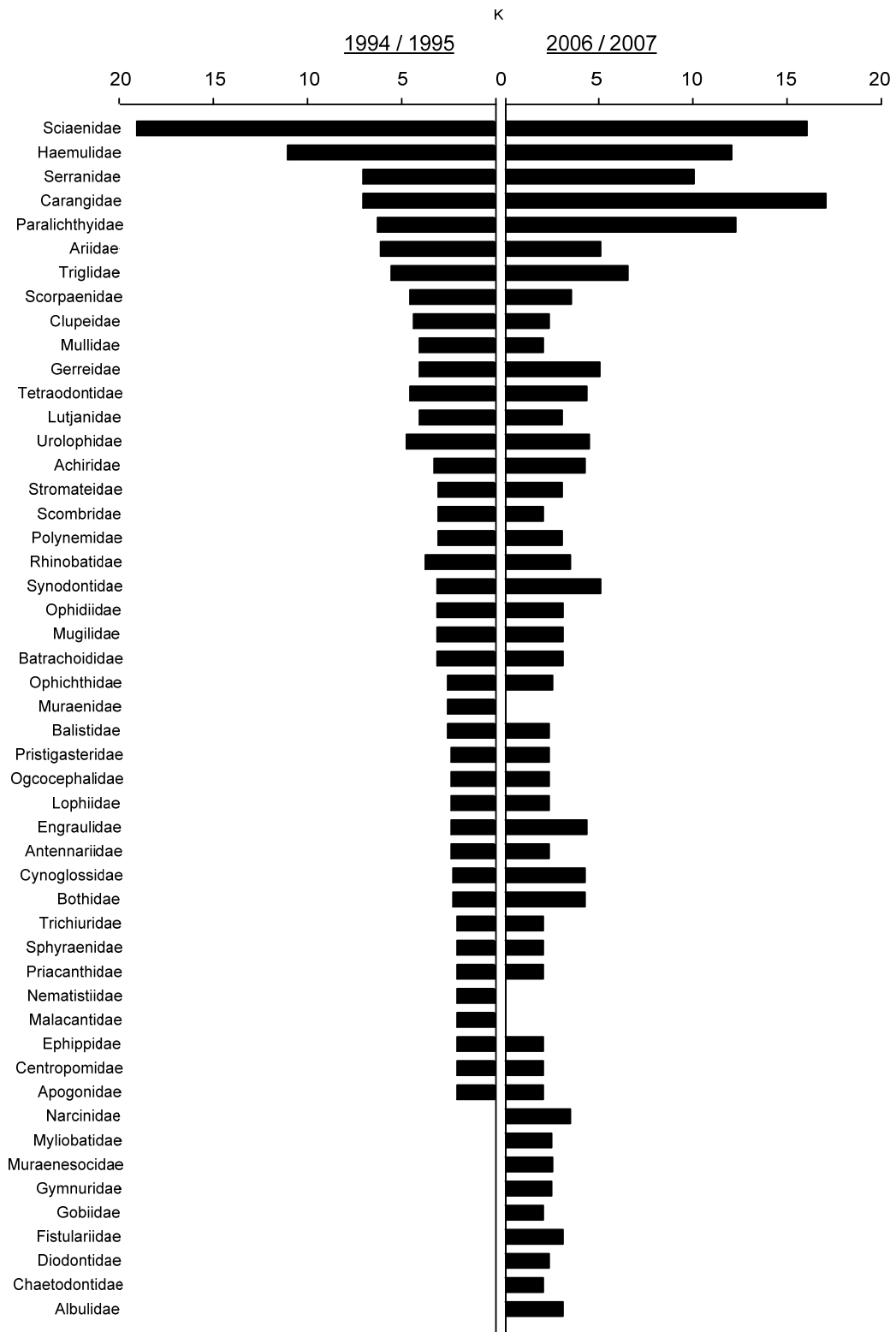


Figura 21. (Continuación).

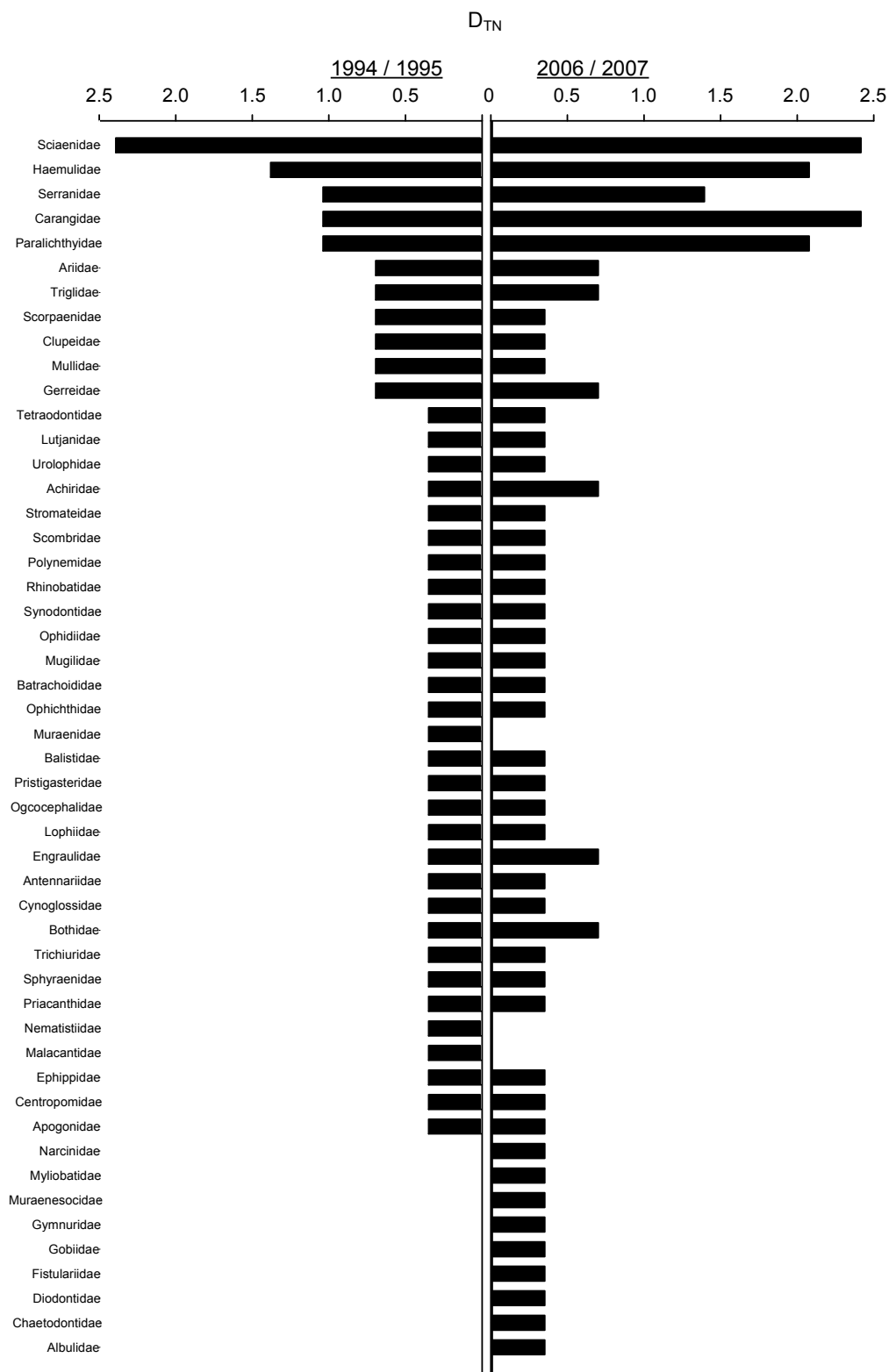


Figura 21. (Continuación).

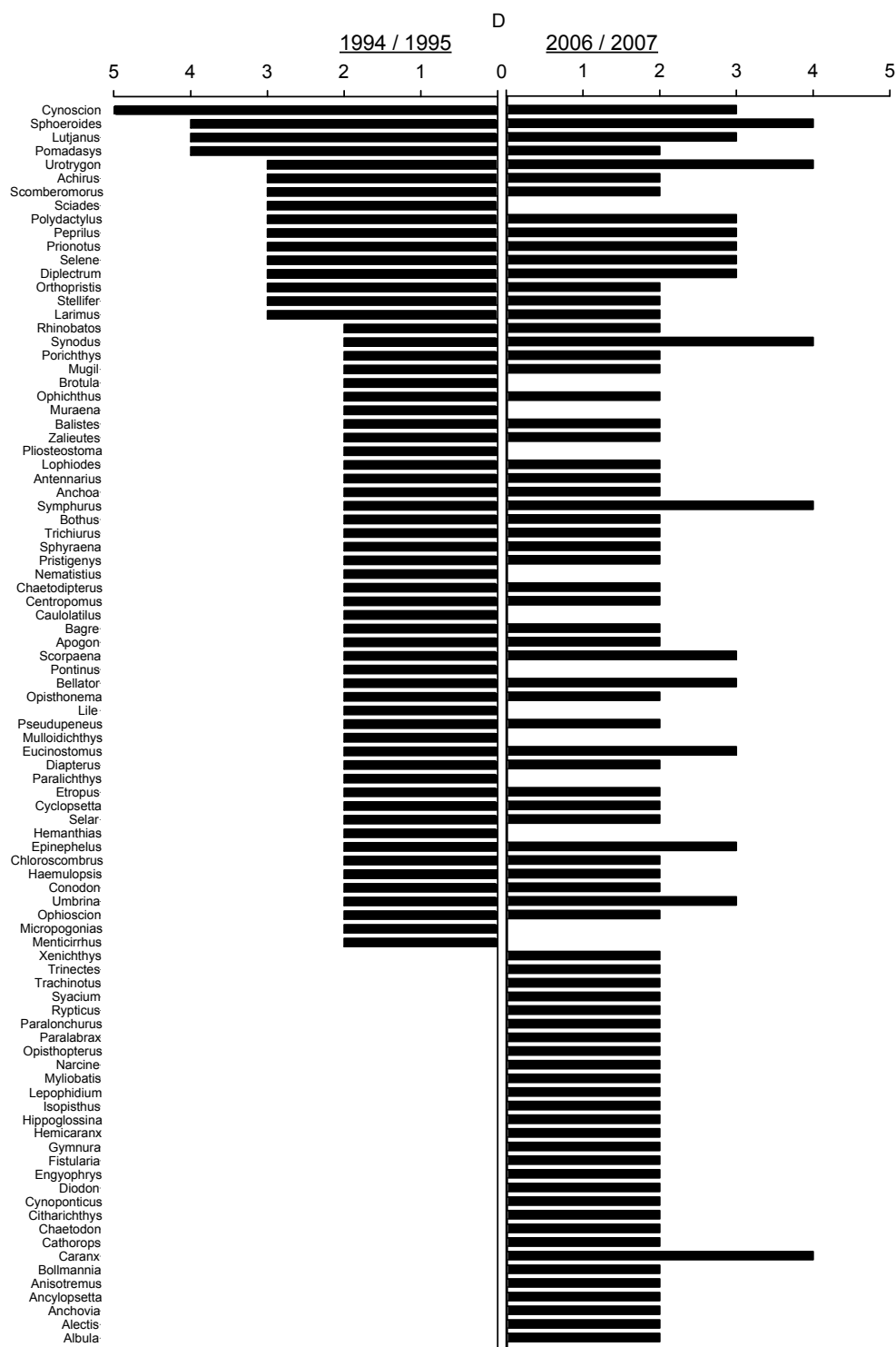


Figura 22. Indicadores topológicos para la categoría de género de 1994-1995 y 2006-2007. D: Grado,  $BC_i$ : Intermediación,  $CC_i$ : Centralidad, K: Especies clave K y  $D_{TN}$ : Diferenciación topológica.

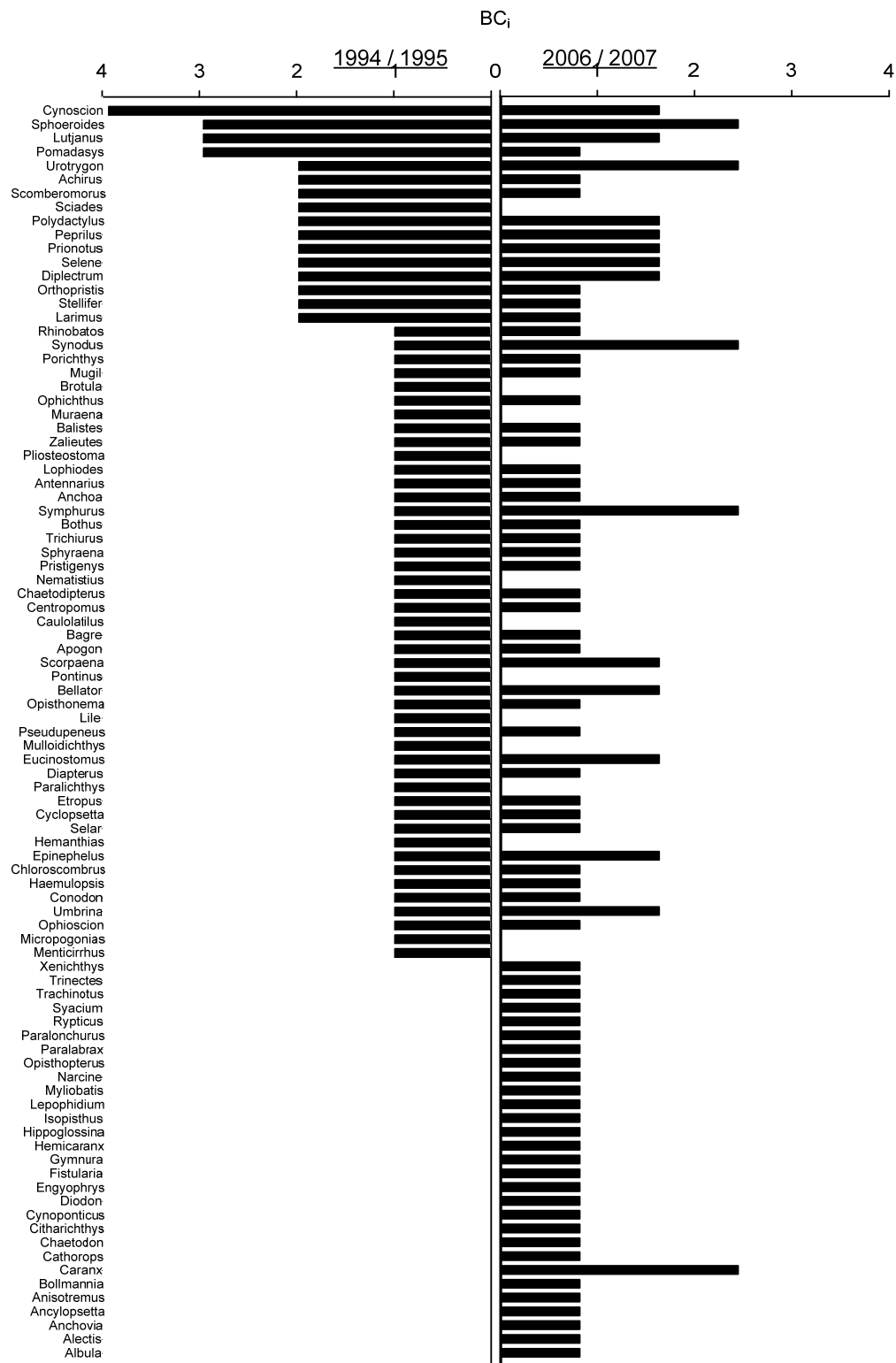


Figura 22. (Continuación).



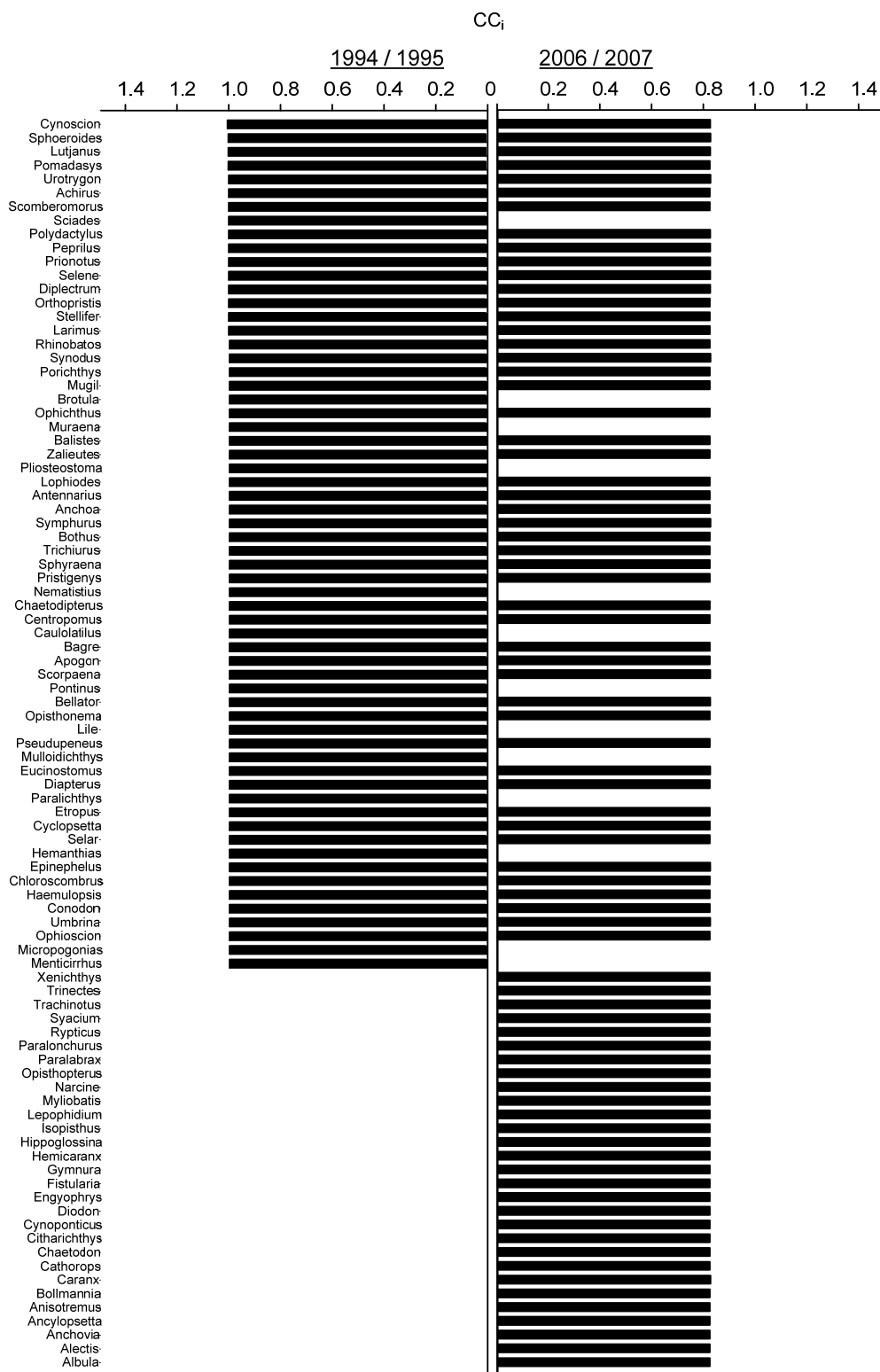


Figura 22. (Continuación).

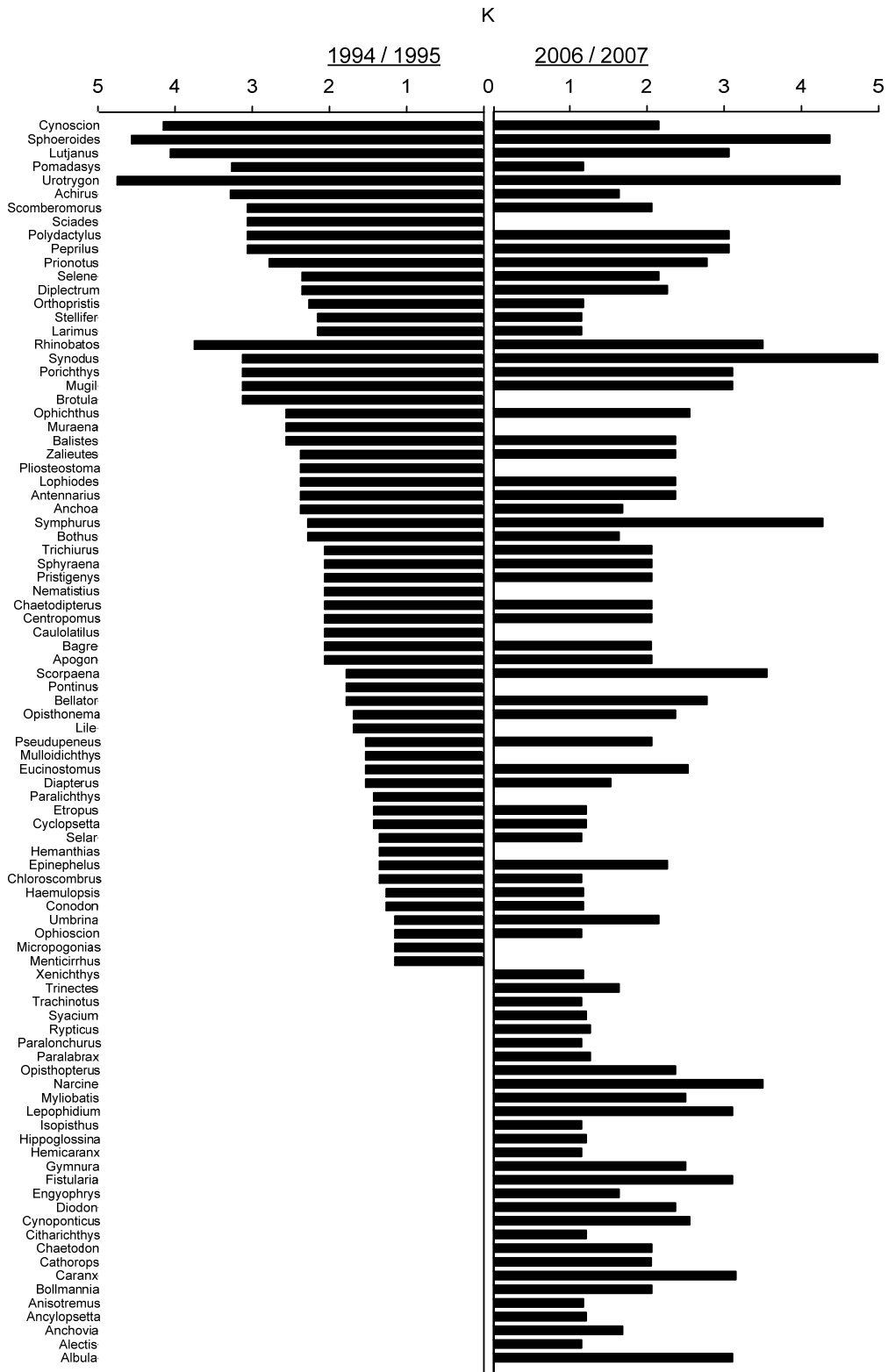


Figura 22. (Continuación).

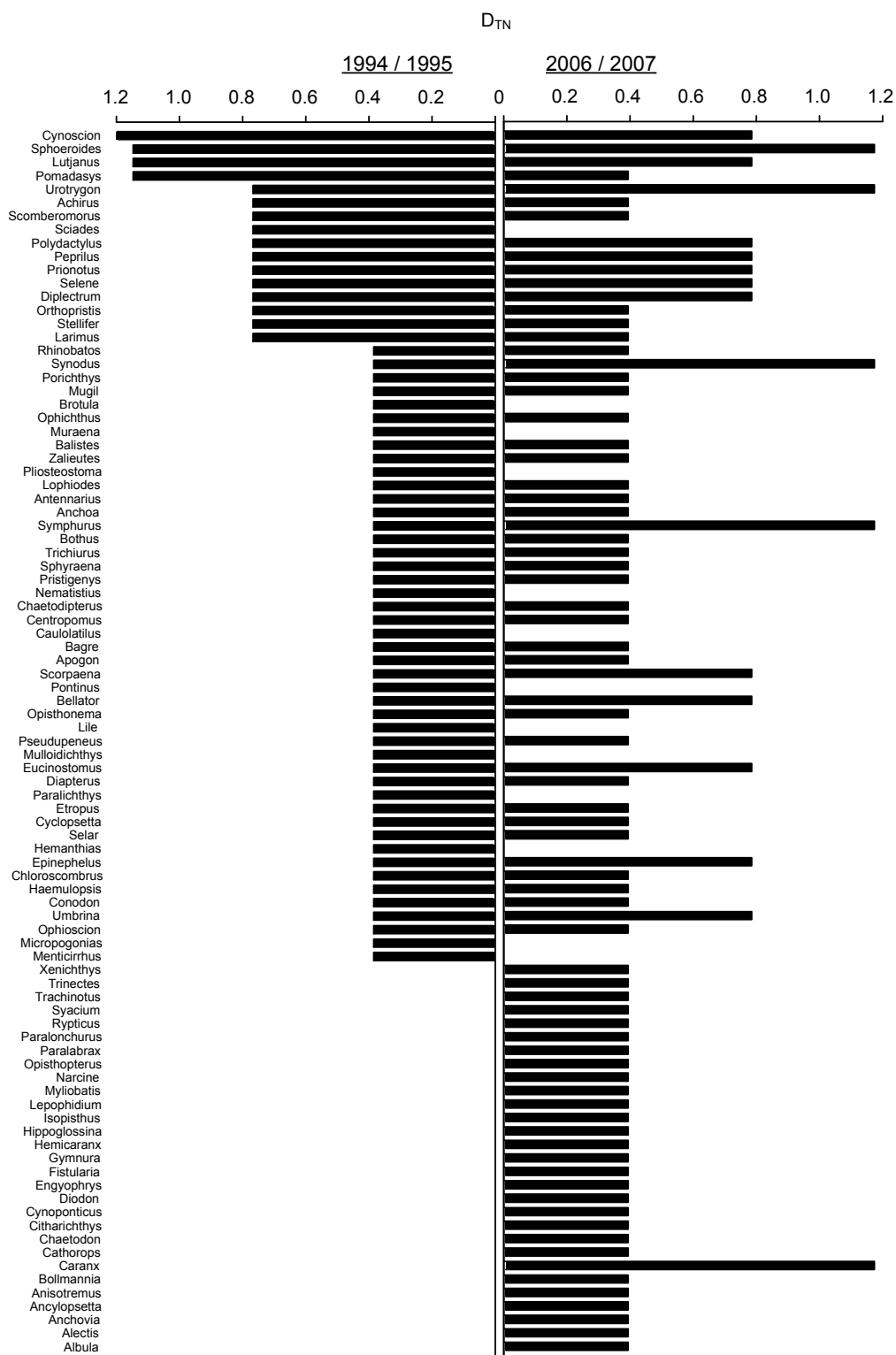


Figura 22. (Continuación).

### 7.4.3. Ajuste de distribuciones de frecuencia de índices topológicos.

El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) obtenido en el ajuste a una ley de potencia ( $P(K) = cK^{-\gamma}$ ), fue más consistente en la diferenciación topológica ( $D_{TN}$ ), con sólo un valor menor a 0.9 pero mayor a 0.8 ( $p > 0.05$ ); seguido del índice de grado (D), intermediación (BCi), cercanía (CCi) y el índice de especie clave K, que mostraron sólo dos valores de  $R^2$  mayores a 0.9 en la jerarquía de familia en ambos periodos. En general, los índices siguen un patrón similar a nivel de phylum, orden y familia, con una significación del ajuste menor a 0.05, excepto para el índice de especie clave K e intermediación (BCi) en la jerarquía Género ( $p > 0.05$ ) de 1994-1995 (Tabla 2). Esto indica que la arquitectura de un árbol taxonómico puede ser representada por un modelo matemático, a través de la distribución de frecuencias de los indicadores topológicos.

Tabla 2. Coeficiente de determinación del ajuste a una ley de potencia del índice de Grado (D), Especie clave (K), Intermediación (BCi), Cercanía (CCi) y Diferenciación topológica ( $D_{TN}$ ). Parámetros de la ecuación potencial decreciente  $-\gamma$  y  $c$ ; así como la probabilidad de error ( $p$ ) del ajuste de la regresión.

(G)

Periodo	Datos	$R^2$	$-\gamma$	$c$	$F$	$p$
1994/5	Phylum	0.765	1.079	93.262	16.838	0.003
	Orden	0.963	1.936	26.598	102.027	0.002
	Familia	0.994	3.593	360.901	365.064	<0.001
	Género	0.996	3.610	563.126	417.493	0.002
2006/7	Árbol	0.734	1.126	113.486	15.426	0.003
	Orden	0.827	2.089	36.956	18.226	0.021
	Familia	0.992	4.288	702.531	278.588	<0.001
	Género	0.999	3.904	912.756	1717.258	0.017

Tabla 2. (Continuación).

<b>(K)</b>						
Periodo	Datos	R <sup>2</sup>	-γ	c	F	p
1994/5	Phylum	0.429	0.652	46.897	10.432	0.002
	Orden	0.411	1.377	26.212	11.349	0.009
	Familia	0.946	2.343	237.651	99.584	<0.001
	Género	0.586	1.097	53.680	8.692	0.103
2006/7	Phylum	0.431	0.666	57.461	10.785	0.001
	Orden	0.536	1.793	76.782	9.904	0.018
	Familia	0.982	2.532	342.123	318.624	<0.001
	Género	0.737	1.497	98.368	12.276	0.036
<b>(BC<sub>i</sub>)</b>						
Periodo	Datos	R <sup>2</sup>	-γ	c	F	p
1994/5	Phylum	0.998	1.994	129.307	4290.929	<0.001
	Orden	0.494	1.074	12.631	13.693	0.006
	Familia	0.970	2.559	133.528	155.911	<0.001
	Género	0.888	38.000	46.000	14.201	0.066
2006/7	Phylum	0.947	1.206	64.069	147.195	<0.001
	Orden	0.757	1.017	20.130	20.012	0.008
	Familia	0.927	3.084	233.214	57.282	<0.001
	Género	0.999	2.326	60.988	20217.556	0.005

Tabla 2. (Continuación).

(CCi)						
Periodo	Datos	R <sup>2</sup>	-γ	c	F	p
1994/5	Phylum	0.667	278.8308	33.0265	19.4165	0.0001
	Orden	0.293	56.0079	2.8974	8.9375	0.0159
	Familia	0.912	484.8134	8.4464	50.0320	0.0002
	Género	0.996	485.8402	10.7135	382.3276	0.0026
2006/7	Phylum	0.999	7.9165	242.0000	29303.2200	<0.001
	Orden	0.437	205.6506	0.0000	7.7156	0.0296
	Familia	0.886	1466.0360	0.0000	39.3167	0.0002
	Género	0.999	676.8423	0.0000	25723.7152	0.0044
(D <sub>TN</sub> )						
Periodo	Datos	R <sup>2</sup>	-γ	c	F	p
1994/5	Phylum	0.996	3.284	4.093	1296.842	<0.001
	Orden	0.969	1.414	1.902	123.276	0.001
	Familia	0.996	2.738	2.436	814.8240	<0.001
	Género	0.993	2.195	6.178	231.766	0.004
2006/7	Phylum	0.976	3.794	3.268	202.606	<0.001
	Orden	0.840	1.528	2.147	19.895	0.019
	Familia	0.994	2.511	3.604	388.357	<0.001
	Género	0.999	2.326	7.238	20217.556	0.005

## 8 DISCUSIÓN

La riqueza encontrada en 1994-1995 es menor a la reportada por Plascencia-González (1993), quien identificó a 101 especies de peces para la costa sur de Sinaloa. No obstante, esta riqueza es análoga a la obtenida en 2006-2007 (100 especies). En general, ambas épocas muestran menor riqueza que la reportada en diferentes áreas del Pacífico mexicano (de 105 a 215 especies) por Chávez y Arvizu-Martínez (1972), Pérez-Mellado y Findley (1985), Amezcua-Linares (1996) y Rodríguez-Cajica (1996).

Diferencias en la composición de la comunidad indican cambios en el ambiente por alteraciones a través del tiempo (Wootton, 1990) producidos tanto por actividades antropogénicas como por fenómenos naturales. Algunos autores sugieren que la comunidad íctica asociada a la pesquería de camarón presenta uniformidad en la composición de especies y que las variaciones particulares dependen de la zona de arrastre de la flota (Chávez & Arvizu-Martínez, 1972; van der Heiden, 1985).

Las diferencias en la composición y abundancia de las especies dominantes pueden revelar cambios a nivel del ecosistema ya que éstas controlan gran parte del flujo de energía (Odum, 1972). En este estudio se encontró que las dos épocas son dominadas por diferentes grupos de especies. Las especies dominantes en 2006-2007, no lo son en 1994-1995. Este fenómeno se observa en algunas especies de la familia Carangidae (p.ej., *Selene peruviana* y *Chloroscombrus orqueta*); en la cual la mayoría de sus especies se caracteriza por tener su mayor actividad alimenticia durante el crepúsculo (Helfman, 1978), formando cardúmenes con desplazamientos sincronizados (Pitcher, 1986). Por otro lado, en 2006-2007 algunas especies de las familia Serranidae (*D. pacificum*), Paralichthyidae (*Etropus crossotus*) y Triglidae (*Bellator loxias*, *Prionotus stephanophrys*), asociadas a fondos blandos que se alimentan durante la noche (Wootton, 1990) de invertebrados o de otros peces (Pitcher, 1993), ocupan niveles de dominancia menores a los obtenidos en 1994-1995. Lo anterior puede significar cambios en el tiempo de la comunidad íctica, por el remplazo de especies dominantes como respuesta a las variaciones de

factores que determinan la dinámica de la comunidad, si se comparan ambas épocas.

La diversidad en 2006-2007 se encuentra dentro del intervalo obtenido en 1994-1995, con poca variabilidad, esto se debe a una mayor frecuencia de aparición de número de especies con un aporte menor al 1% de la abundancia obtenida (en 1994-1995 con 31 especies y 46 especies en 2006-2007). El gradiente de la diversidad ( $H'$ ) disminuye a medida que se aproxima el fin de la temporada de pesca del camarón, esta variabilidad temporal es evidente en 1994-1995. Este comportamiento se observa en la equidad para 2006-2007; no obstante, los individuos de las especies de peces en 1994-1995 están repartidos más uniformemente que en 2006-2007. En lo que respecta a los patrones de la diversidad, Plasencia-González (1993) y Amezcua-Linares (1996) demostraron que están asociados a la variabilidad temporal de la temperatura, concentración de oxígeno y profundidad. En general la diversidad decrece al aumentar la profundidad y al disminuir tanto la temperatura como la concentración de oxígeno.

Respecto a la riqueza de especies en los cruceros de cada época, coincide con el patrón de la diversidad, pero es contrario al observado en el análisis por época. Sin embargo, en ambos casos la riqueza difiere del comportamiento de la equidad; esto se debe a que la diversidad de Shannon-Wiener y la equidad de Pielou, dependen de la repartición de las abundancias entre las especies y de la aparición de especies raras; por lo que, es posible encontrar: a) comunidades de igual riqueza de especies con diferencias en la diversidad y equidad, b) comunidades de alta riqueza con baja uniformidad en las abundancias y baja diversidad y c) otras con menor riqueza, alta equidad y diversidad (Begon *et al.*, 1999; Gray, 1981).

Por otro lado, no se descarta que la variabilidad natural del hábitat afecte el patrón temporal en la estructura de la comunidad la cual ha sido documentada por varios autores (p. ej., Lekve *et al.*, 2002). Específicamente para el Pacífico central Mariscal-Romero y van der Heiden (2006) sugieren que la abundancia de peces demersales asociados a fondos blandos, es modulada por las condiciones ambientales y proponen que los cambios en las condiciones oceanográficas dados



por la reducción de la temperatura en aguas someras generadas por la Corriente de California; hace que las especies sensibles se trasladen al continente en busca de aguas cálidas. No obstante, Pérez-Mellado y Findley (1985) señalan que particularmente en Sonora y norte de Sinaloa, la variabilidad de la abundancia y biomasa de la fauna íctica acompañante del camarón, depende de los cambios en la temperatura del agua de mar y del incremento de área barrida por parte de la flota camaronera. Igualmente, Nieto *et al.* (en prensa), a través de un análisis de correlación de datos bióticos y abióticos, encontraron que los patrones de la abundancia temporal de la comunidad íctica del sur de Sinaloa, está relacionada con la temperatura, la profundidad y la latitud; este comportamiento es análogo al reportado por Munari y Mistrí (2008) al utilizar la misma herramienta de análisis, para explicar la relación de la comunidad de macrobentos con las variables ambientales y geográficas en las costas de Italia.

De los parámetros físico químicos (temperatura, salinidad y oxígeno) tomados *in situ* en la época de 1994-1995, sólo el gradiente térmico de la superficie del agua de mar y el fondo, tiende a coincidir con el comportamiento de la diversidad ecológica, con tendencia a obtener valores pequeños a medida que disminuye la temperatura, excepto por el crucero realizado en junio durante el periodo de veda. Desafortunadamente sólo se cuenta con la temperatura promedio del agua de mar en el fondo para la época de 2006-2007, su gradiente no coincide con el de diversidad, ni con el comportamiento observado en 1994-1995; al final de la temporada cuando se tiene el registro más bajo de temperatura y una baja actividad de las embarcaciones la diversidad fue alta.

Sin embargo, el comportamiento de los índices ecológicos y la baja dominancia de algunas especies de hábitos nocturnos, pueden deberse al cambio en la intensidad y patrón de los arrastres pesqueros sobre fondos blandos del Pacífico mexicano. Por ejemplo, se sabe que en el periodo 1994-1995 los arrastres comerciales se realizaban durante las 24 horas. Sin embargo, en 2006-2007 debido a los bajos niveles de captura de camarón (García-Caudillo & Gómez-Palafox, 2005) y altos consumos de combustible, hicieron distinta la dinámica de los arrastres.

Durante los primeros tres viajes (septiembre a noviembre), la actividad es durante las 24h, el resto de la temporada de pesca es por la noche, con arrastres esporádicos en el día. Esto puede indicar que la reducción en la intensidad de arrastres diurnos, tiene un papel importante en la recuperación de especies, principalmente en aquellas que utilizan los sistemas lagunares y estuarinos de la región como zonas de protección y reproducción. Asociado a lo anterior, el promedio del periodo de veda estimado para 1989-1998 y 2000-2008, ha cambiado sustancialmente de 145.5 a 180.3 días respectivamente (Fig. 25 del anexo 6).

Durante 1996 se implementó el uso de excluidores de tortugas; los cuales además de cumplir con su función, también contribuyen a reducir 45% de la captura incidental (Villaseñor-Talavera, 1997). Esto hace pensar que posiblemente la presión de la pesquería sobre las comunidades vulnerables a los sistemas de arrastre, es relativamente menor en la época 2006-2007, si se compara con la época 1994-1995.

Por otro lado, pese a que en ambas épocas se identifica un estrés moderado, con un gradiente del estadístico  $W$  diferente entre ellas. En 1994-1995, el estrés de la comunidad de peces asociados a fondos blandos es más uniforme con respecto al encontrado en 2006-2007 (Fig. 26 del anexo 7). Dado que en este último periodo en los meses de muestreo asociados al inicio de la temporada el estrés es menor, puede sugerir que la comunidad de peces se ha recuperado después del periodo de veda, probablemente por las estrategias de manejo de la pesquería, las cuales están relacionadas con los índices de descartes (Crean & Symes, 1994; Graham *et al.*, 2007). En contraste para 2006-2007, a pesar del valor cercano a cero de  $W$  en el crucero de enero de 2007 (E'07), la tendencia general del índice muestra una pendiente negativa (Fig. 26 del anexo 7); lo que indica que a medida que avanza la temporada aumenta el estrés de la comunidad inducido por el aumento de la perturbación. Es posible pensar que este comportamiento no sólo se deba a las perturbaciones de la temporada de pesca 2006-2007, sino también del efecto acumulado de las anteriores.

En general el comportamiento de las curvas de abundancia-biomasa representa la variabilidad de la composición de las especies pequeñas dominantes, que dan origen a las diferencias en la comunidad (Clarke & Warwick, 2001; Jouffre & Inejih, 2005). La sensibilidad de las curvas de abundancia-biomasa, depende en parte de la resolución taxonómica a utilizar, como lo señalan Jouffre y Inejih (2005) y Yemane *et al.* (2005), debido a que las especies identificadas a nivel de familia o género, podrían representar la abundancia y biomasa de varias especies. Prueba de ello, es la diferencia en la significación de la comparación de medias entre épocas del estadístico  $W$  al considerar el análisis con ( $p = 0.046$ ) y sin especies ( $p = 0.026$ ) identificadas hasta género; de esta manera se evidencia el efecto de la agregación de la abundancia y biomasa en especímenes no identificados hasta especies. Una alternativa para reducir o eliminar este efecto y aprovechar los datos de dichas especies, es hacer el análisis a nivel de familia o género para que la abundancia y biomasa de las diferentes especies de la comunidad, esté aglomerada en la misma jerarquía taxonómica.

De acuerdo al análisis taxonómico, al hacer el contraste por época de la fauna íctica, la distinción taxonómica promedio muestra un patrón inverso a la diversidad ecológica lo que demuestra que la estructura de la comunidad es más heterogénea; con incremento en la variedad de formas y funciones de la comunidad en el ecosistema a consecuencia de la heterogeneidad taxonómica como lo define Ramos-Miranda *et al.*, 2005. Algunos autores argumentan que valores bajos de la distinción taxonómica promedio ( $\Delta^+$ ) los presentan las localidades altamente impactadas (Warwick & Clarke 1998, Rogers *et al.*, 1999), con un incremento en el estrés de la comunidad (Warwick & Clarke, 1995), coincidiendo con valores que caen fuera de la distribución de probabilidad y zonas altamente contaminadas (Clarke & Warwick, 1999) o impactadas por embarcaciones dedicadas a la pesca de arrastre (Leonard *et al.*, 2006). En nuestro caso de estudio, el comportamiento de la distinción taxonómica de ambas épocas indica que la diversidad taxonómica de la comunidad de peces asociado a fondos blandos, obtenida en los cruceros, es representativa de la zona de estudio [por caer dentro de la distribución de

probabilidad esperada; de tal forma que si la diversidad taxonómica está relacionada con las funciones en un ecosistema, se puede decir que la influencia de la perturbación de la pesca sobre la integridad de la comunidad íctica en ambas épocas es baja.

Pese a ello, hay discrepancias en el comportamiento de la distinción taxonómica entre épocas. Así, durante 2006-2007 los valores de la distinción taxonómica promedio se encuentran próximos a la media obtenida en la simulación, mientras que en 1994-1995 mostró mayor homogeneidad taxonómica por estar en el límite inferior de la distribución de probabilidad, este patrón coincide con la dinámica de arrastres que distingue a cada época. Probablemente una prueba de ello, es el valor alto de la distinción taxonómica promedio que presentó crucero realizado en junio de 1995 durante el periodo de veda establecida del 1 de mayo al 10 de septiembre del mismo año. Por lo tanto, se puede argumentar que la época 2006-2007 presenta una mayor complejidad taxonómica que 1994-1995, debido a que los valores los cruceros y los obtenidos por época cayeron próximos a la media esperada.

El comportamiento del índice propuesto, diferenciación topológica ( $D_{TN}$ ), no es diferente del obtenido por la distinción taxonómica promedio a nivel de época (*vid.* Figs. 15b y 19), ambos índices señalan que 2006-2007 presenta mayor complejidad taxonómica; lo que sugiere que el índice propuesto puede ser de utilidad para el estudio de la estructura taxonómica.

Con el objetivo de analizar las fortalezas y comportamientos de este índice se realizó una comparación de los valores de ambos índices para los cruceros estudiados, encontrándose que no mostraron el mismo gradiente. Para validar la interpretación del índice  $D_{TN}$  se probó su desempeño con los casos de estudio, el cual ha sido usado en varias ocasiones por Warwick y Clarke para ilustrar el cálculo e interpretación del índice de distinción taxonómica promedio (Leonard *et al.*, 2006). Se encontró que para los seis árboles taxonómicos analizados por Warwick y Clarke (2001; Fig. 27 del anexo 8), estos índices coinciden en la tendencia de complejidad taxonómica, excepto en los casos **c** y **f**, donde la distinción taxonómica promedio no logra distinguir a las estructuras resultando en una estimación con el mismo valor

( $\Delta^+ = 67$ ). No obstante, la diferenciación topológica, logra detectar diferencias en ambos arreglos taxonómicos ( $D_{TN} = 46.16$ , para **c** y  $D_{TN} = 38.98$ , para **f**). Esto demuestra este índice tiene un mejor desempeño al mostrar mayor sensibilidad para detectar diferencias en la organización taxonómica, cuando estas son pequeñas en relación al número de jerarquías taxonómicas que puede haber entre dos o más árboles, pero que pueden representar categorías totalmente diferentes con la representación de especies con funciones totalmente diferentes.

Asimismo, los valores obtenidos de 100 árboles taxonómicos construidos con diferente riqueza (de 2 a 74 especies), seleccionada al azar (Anexo 9), a partir de las especies de la matriz madre considerada para el estudio, confirman que la distinción taxonómica se ajusta a la distribución de probabilidad en forma de cono descrita por Warwick y Clarke (1995) en muestras de macrobentos (Fig. 28 del anexo 9). Por otro lado, la diferenciación topológica, se ajusta a un modelo potencial de la misma manera que los índices de grado y especie clave K (Figs. 29a, 30a, y 31a del anexo 9). Los residuales de los modelos de  $D_{TN}$ , D y K, coinciden con el patrón de una distribución normal (prueba Kolmogorov-Smirnov  $p > 0.05$ , Figs. 29b, 30b y 31b del anexo 9), lo que indica la independencia del error (Poole, 1974; Ratkowsky, 1990) y una buena predicción de la variable de respuesta por parte de los modelos.

La sensibilidad de la diferenciación topológica se debe a su tendencia; por lo que, a diferencia de  $\Delta^+$ , no se podrán obtener dos árboles taxonómicos con el mismo valor si no son idénticos, pero si habrá estructuras con la misma riqueza de especies y diferente valor de  $D_{TN}$ . Cualquier diferencia en taxones, aún sea a nivel de especies, se manifestará numéricamente y su significación podrá ser determinada con un análisis de varianza al hacer el contraste de árboles taxonómicos. Además, manifiesta una correlación significativa ( $r > 0.9$ ,  $r > -0.9$  y  $p < 0.05$ ) con la conectividad (C), el número de uniones (L), grado de conexión (D) y el índice de especie clave K; contrario a lo que sucede con la distinción taxonómica promedio (Tabla 6 del anexo 9). El valor del índice  $D_{TN}$  depende de la amplitud, considerada como el incremento o decremento de taxones y la jerarquía taxonómica donde convergen las especies. Por ejemplo, al agregar una especie que pertenece a un

género existente tendrá un valor menor que una especie que se agrega en la jerarquía orden (Fig. 32; f4 vs f6 del anexo 10).

La analogía conceptual entre árboles taxonómicos y redes, permitió analizar las tendencia de los índice grado de conexión, intermediación ( $BC_i$ ), cercanía, especie clave K y la diferenciación topológica ( $D_{TN}$ ), en la jerarquía de Familia y Género, a través de la frecuencias de taxones. La estructura de árbol la intermediación (Goh *et al.*, 2002) y el resto de los índices, presentaron tendencias similares a la distribución de frecuencias del índice de grado con propiedades de una red libre de escala (*vid.* Figs. 4 y 5) o ley de potencia ( $P(K) = cK^{-\gamma}$ ), que se caracteriza por tener muchos nodos con pocas conexiones y pocos nodos altamente conectados (Albert *et al.*, 2000; Albert & Barabási, 2002; Newman, 2003), debido a la ramificación (Ibáñez & Ruíz 2006) de los árboles taxonómicos.

Comúnmente los valores de  $-\gamma$  en todos los índices mostraron patrones análogos en ambas épocas, excepto  $BC_i$  en Género y  $CC_i$  en todas las jerarquías (Tabla 2). Asimismo, se observa una coincidencia en el valor bajo del parámetro  $-\gamma$  y la capacidad de diferenciar los taxones; debido a que los índices que presentaron una elevada sensibilidad mostraron valores de  $-\gamma$  entre 0.65 y 2.6; esto significa que en la red existen pocos taxones altamente conectados; pero cuando aumenta el valor de  $-\gamma$ , aumenta la cantidad de taxones con estas características y reduce el número de taxones pobremente conectados. Por otra parte, los valores de  $-\gamma$  en el índices de grado, a nivel de Phylum de ambos periodos, son semejantes a los encontrados por Montoya y Solé (2002), para redes tróficas ( $-\gamma = 0.94$  a  $1.13$ ), pero menores que en la *World Wide Web* ( $-\gamma = 2.1$ ) reportado por Brinkmeier y Schank (2005) y Albert *et al.* (2000), debido al mayor el número de nodos altamente conectados presentes en el Internet, si se compara con las redes tróficas y árboles taxonómicos. Si bien el ajuste del índice  $CC_i$  es significativo, los valores altos del parámetro  $-\gamma$ , indican que el modelo tiene una mayor velocidad de caída con una estrecha distancia al origen; este comportamiento es diferente al resto de los índices, probablemente debido a los valores cercanos a cero del parámetro c; lo que hacen pensar en una mala estimación de los parámetros, como consecuencia de los valores pequeños del

índice. Por otro lado, la tendencia del índice de intermediación en árboles taxonómicos, confirma que éste índice describe el comportamiento de una red libre de escala, encontrado por Goh *et al.* (2002) en diversas redes (p. ej., redes metabólicas, internet y de coautoría); tal parece que la coincidencia se debe a que la intermediación se estima con base en un árbol de rutas cortas, el cual se determina con el algoritmo de búsqueda en amplitud (BFS, anexo 5). Asimismo, es evidente que el desempeño observado en índices  $BC_i$  y especie clave K, en árboles taxonómicos (*vid.* Figs. 20, 21 y 22), concuerda con el observado en redes tróficas (p. ej., Jordán, 2006; Vasas & Jordán 2006).

El índice de grado y la diferenciación topológica ( $D_{TN}$ ) muestran la misma capacidad para detectar taxones claves. Pese a que todos los índices tienen semejanza en la tendencia, el índice de especie clave K es más sensible al distinguir taxones con el mismo número de conexiones (*vid.* Figs. 20, 21 y 22). La identificación de la importancia de los taxones, permite evidenciar cambios e identificar las especies que tipifican dicho cambio. Por ejemplo, para la época 1994-1995 la familia Scianidae fue la más importante, en ella se identifican una riqueza de doce especies que pertenecen a 7 géneros; aunque esta misma familia tiene el mismo número de géneros, su riqueza disminuye a 9 especies, de las cuales sólo *Cynoscion reticulatus*, *Larimus argenteus* y *Menticirrhus nasus* fueron comunes en ambas épocas (Fig. 33 del anexo 11); razón por la cual, esta familia pasa a ocupar el segundo lugar de importancia para la época 2006-2007 (*vid.* Fig. 20). Respecto a la familia Carangidae, de ser la segunda en importancia en 1994-1995, pasa a ser la primera en 2006-2007, debido al incremento tanto de especies como de géneros; con la permanencia de *Chloroscombrus orqueta*, *Selar crumenophthalmus*, *Selene brevoortii* y *Selene peruviana* en 2006-2007.

Cuantificar los atributos topológicos, permite identificar taxones importantes en la estructura de la comunidad, el posible daño que causaría la remoción aleatoria de una especie y el papel que desempeña dentro de la comunidad objeto de estudio, con base en la topología del árbol taxonómico. Los indicadores topológicos también pueden contribuir a evidenciar la relación existente entre la diversidad taxonómica y la complejidad del ecosistema, debido a que los cambios taxonómicos de la comunidad influyen en la función del ecosistema (flujos de energía y materia) desempeñada por los grupos funcionales; de tal forma que una homogenización taxonómica causa la simplificación en la estructura de la red trófica (Olden *et al.*, 2004).

En el contexto de esta hipótesis, Salcido-Guevara y Arreguín-Sánchez (2007) representaron en un modelo la estructura trófica de la plataforma continental del sur de Sinaloa, la cual fue usada para realizar el contraste de la posición de 13 familias de peces comunes en el árbol taxonómico de 1994-1995 (Tabla 8 del anexo 12) y la red trófica (Fig. 34 del anexo 12) para el mismo periodo. Se encontró que existe relación en sus atributos topológicos (correlación de Spearman,  $r = 0.57$  a  $0.68$  con  $p < 0.05$ ; Tabla 9 del anexo 12). La intermediación ( $BC_i$ ) tiene una correlación más fuerte entre las redes; probablemente por la riqueza de especies en las familias, lo que implica un aumento en la biomasa y en su disponibilidad para ser aprovechada por otras especies con un aumento en el número de vecinos en la red trófica.



## 9. CONCLUSIONES

De acuerdo con el contraste de la estructura de la comunidad de peces asociados a fondos blandos del sur de Sinaloa, la época 1994-1995 tiene una mayor diversidad ecológica que la época 2006-2007. Sin embargo, ambas épocas son dominadas por grupos de especies, con diferencias en su arreglo determinado por el índice del Valor Biológico de Sanders (IVB).

De los indicadores topológicos resultó que el uso de estos índices y la propuesta de la diferenciación topológica, fue posible gracias a la estandarización de la metodología para construir la matriz de adyacencia, con base en la analogía de una red tipo árbol y un árbol taxonómico. De igual forma, estos índices mostraron ser útiles en el análisis de la arquitectura topológica de árboles taxonómicos, para evidenciar las diferencias en la organización de la comunidad y su origen.

Todos los índices utilizados en el estudio describieron la arquitectura de una red libre de escala. No obstante, el índice de especie clave K fue más sensible al mostrar diferencias en los taxones, donde el resto de los índices manifiestan el mismo valor.

En cuanto a la Diferenciación Topológica, es útil para detectar diferencias en la composición taxonómica de la comunidad. Por lo tanto, puede ser utilizado como un indicador de diversidad taxonómica, por ser más sensible que la distinción taxonómica promedio. Sin embargo, pese a que la diferenciación topológica fue diseñada para determinar la complejidad de árboles taxonómicos, también identifica la importancia de taxones, con el inconveniente de no ser tan sensible como el índice de especie clave K. Además cuenta con la alternativa de comparar muestras con un análisis de varianza, gracias a los valores determinados para cada uno de los taxones que integran el árbol taxonómico de la muestra.

La comparación de la estructura de la comunidad y la organización demuestran que existen cambios en la comunidad íctica en el periodo de 13 años. Lo cual es evidenciado por:

El remplazo de especies dominantes que controlan el flujo de energía.

El estado de estrés moderado, debido a las diferencias en las curvas AB, por la presencia de tallas pequeñas en las especies identificadas en la región como respuesta a las perturbaciones aleatorias de la naturaleza y antropogénicas.

Las diferencias en la complejidad taxonómica, debido a que la época 2006-2007 muestra mayor heterogeneidad taxonómica que la época 1994-1995. Sin embargo, no hay evidencia contundente de la presión de la pesquería, debido a que en ambas épocas la distinción taxonómica no cae fuera de la distribución de probabilidad esperada.

La sustitución de taxones claves en las diferentes categorías y las diferencias encontradas en la diferenciación topológica de árboles taxonómicos y número de taxones.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

Agustinovics, M. 1970. Methods of international and intertemporal comparison of structure. 249-269. En: Carter A.P. & A. Brody. 1970. Contributions to Input-Output analysis.: North Holland, Amsterdam, Vol. 1, 343 p.

Albert, R., H. Jeong & A.L. Barabási. 2002. Statistical mechanics of complex networks. *Reviews of Modern Physics*, 74: 47-97.

Albert R., H. Jeong & A. L. Barabasi. 2000. Error and attack tolerance of complex networks. *Nature*, 406:378-382.

Alcolado, P.M. 1998. Conceptos e índices relacionados con la diversidad. *Avicennia* No.8-9:7-21.

Aldana, M. 2006. Redes complejas. [Publicado en línea]. Disponible en: <http://www.fis.unam.mx/max/English/notasredes.pdf>. [Con acceso el 16-7- 2008].

Amezcu-Linares, F. 1996. Peces demersales de la Plataforma Continental del Pacífico Central de México. UNAM, ICMYL, CONABIO. México.

Arii, K., R. Derome & L. Parrot. 2007. Examining the potential effects of species aggregation on the network structure of food webs. *Bulletin of Mathematical Biology*, 69: 119-133.

Baird, D., J. M. McGlade & R. E. Ulanowicz. 1991. The comparative ecology of six marine ecosystems. *Philos. Trans. R. Soc. Lond.*, 333:15-29.

Baird, D. & R. E. Ulanowicz. 1989. The seasonal dynamics of the Chesapeake Bay ecosystem. *Ecological Monographs*, 59:329-364.

Baird, D. & R. E. Ulanowicz. 1993. Comparative study on the trophic structure, cycling and ecosystem properties of four tidal estuaries. *Marine Ecology Progress Series*, 99:221-237.

- Ball, B., B. Munday & I. Tuck. 2000. Effect of otter trawling on the benthos and environment in muddy sediment, 69-82. En: Kaiser M., y S.J. de Groot. Effect of fishing on Non-Target Species and Habitats. Blackwell Science, USA, 399 p.
- Barabási, A.L. & E. Bonabeau. 2003. Scale-Free Networks. Scientific American, 50-59
- Begon, M., J.L. Harper & C. R. Townsend. 1999. Ecología. Omega S. A. de C.V. Barcelona, España, 1172 p.
- Beverton, R. J. H. & S. J. Holt. 1993. On the dynamics of exploited fish populations. Fishery and fisheries Series 11. Chapman & Hall. Boundary, London, 533 p.
- Berdegúe J. 1976. La pesca de camarón: Presente y futuro. Cámara Nacional de la Industria Pesquera. México D.F. México, 32 p.
- Bergman, M.J.N. & J.W. van Santbrink. 2000. Fishing mortality of population of mega fauna in sandy sediment. 49-68. En: Kaiser M., y S.J. de Groot. Effect of fishing on Non-Target Species and Habitats. Blackwell Science, USA, 399 p.
- Bianchi, G., H. Gislason, K. Graham, L. Hill, X. Jin, K. Koranteng, S. Manickchand-Heileman, I. Paya, F. Sainsbury, F. Sanchez, & K. Zwanenburg, K. 2000. Impact of fishing on size composition and diversity of demersal fish communities. ICES Journal of Marine Science, 57: 558-571.
- Borgatti, S.P., M.G. Everett & L.C. Freeman. 2002. Ucinet 6 for Windows: Software for Social Network Analysis Harvard: Analytic Technologies.
- Bortone S.A. 1977. Revision of the sea basses of the genus *Diplectrum* (Pisces: Serranidae), Source: NOAA Tech. Rept., National Marine Fisheries Service Circ., 404: 1-49
- Boundy J.A. & U.S.R. Murty. 1982. Graph theory with applications. North-Holland, U.S.A., 264 p.

- Bussing, W.A. & M.I. López. 1993. Peces demersales y pelágicos costeros del Pacífico de centro América meridional. Guía ilustrada (Span/English) Special Pub. Revista de Biología Tropical, 164 p.
- Brinkmeier M. & T. Schank. 2005. Network statistics.293-317. En: Brandes U. y T. Erlebach (eds.). Network Analysis: Methodological Foundations. Springer. Germany, 477 p.
- Chartrand G. 1977. Introductory graph theory. Dover publication, Inc. New York. U.S.A., 290 p.
- Chávez, H. & J. Arvizu-Martínez. 1972. Estudio de los recursos pesqueros demersales del Golfo de California, 1968-1969. III fauna de acompañamiento del camarón "peces finos" y "basura", 361-378. *En*: Carranza J. (Ed.) Mem. IV Cong. Nal. Ocean. 1969. México, Nov. 17-19.
- Clarke, K.R. 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal Ecology*, 18, 117-143.
- Clarke K.R. & R. N. Gorley. 2006. Primer v6: User manual/tutorial. PRIMER-E, Plymouth Marine Laboratory, UK., 192 p.
- Clarke, K. R. & R.H. Green, R. H. 1988. Statistical design and analysis for a 'biological effects' study. *Marine Ecology Progress Series*, 46:213-226.
- Clarke, K.R. & Warwick, R.M. 1998. A taxonomic distinctness index and its statistical properties. *Journal of Applied Ecology*, 35: 523–531.
- Clarke, K.R. & R.M. Warwick. 1999. The taxonomic distinctness measure of biodiversity: weighting of step lengths between hierarchical levels. *Marine Ecology Progress Series*, 184: 21-29.
- Clarke K.R. & R.M. Warwick. 2001. A further biodiversity index applicable to species lists: variation in taxonomic distinctness. *Marine Ecology Progress Series*, 216: 265-278.

Clarke, K.R. & R.M. Warwick. 2001. Change in marine communities: An Approach to Statistical Analysis and interpretation, 2<sup>nd</sup> edition. E-primer-E Ltd, Plymouth Marine Laboratory, UK., 86 p.

Clarke, K. R., P. J. Somerfield & M. G. Chapman. 2006. One resemblance measures for ecological studies, including taxonomic dissimilarities and zero-adjusted Bray-Curtis coefficient for denuded assemblage. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 330: 55-80.

Crean, K. & D. Symes. 1994. The discards problem: Towards a European solution. *Marine Policy*. 18: 422-434.

Dagg, M., C. Grimes, S. Lohrenz, B. Mckee, R. Twilley & W. Jr. Wiseman. 1992. Continental shelf food chain of the Northern Gulf of Mexico. Chapter 4 67-106. En : Sherman. K. (Ed.) Food chain yield, models and management of large marine ecosystem. Westview Press. USA. 320 p.

Diario Oficial de la Federación. 1989. Acuerdo para establecer la veda para la pesca de las especies de camarón *Penaeus californiensis* (café), *P. stulirostris*, *P. vannamei* (blanco) y *P. brevisrostris* (cristal o rojo) en aguas de jurisdicción nacional del Golfo de California. D.O.F., México, 28 de abril 1989, 1: 31-32.

Diario Oficial de la Federación. 1989. Acuerdo para levantar la veda de camarón de altamar en aguas de jurisdicción del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California, así como el camarón de estero, en los esteros, marismas y bahías del litoral del Golfo de California. D.O.F., México, 27 de septiembre de 1989, 1: 46-47.

Diario Oficial de la Federación. 1990. Acuerdo para establecer la veda para la pesca de las especies de camarón en sistemas lagunares y estuarinos de los estados de Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit. D.O.F., México, 11 de mayo de 1990, 1: 9-10.

Diario Oficial de la Federación. 1990. Acuerdo por el que se levanta la veda para la pesca de las especies de camarón de altamar en aguas de jurisdicción federal del

Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California. D.O.F., México, 5 de octubre de 1990, 1: 33-34.

Diario Oficial de la Federación. 1991. Acuerdo por el que se establece veda para la pesca de las especies de camarón de altamar, *Penaeus Californiensis* (café), *Penaeus Stylirostris* (azul), *Penaeus Vannamei* (blanco) y *Penaeus Brevirostris* (cristal o rojo), en aguas de Jurisdicción Nacional del Océano Pacífico incluyendo el Golfo de California. D.O.F., México, 2 de mayo de 1991,1: 16-17.

Diario Oficial de la Federación. 1991. Acuerdo por el que se levanta la veda para la pesca de las especies de camarón de altamar en aguas de jurisdicción federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California. D.O.F., México, 2 de octubre de 1991, 1: 37-38.

Diario Oficial de la Federación. 1992. Acuerdo por el que se establece veda para la pesca de las especies de camarón de altamar, *Penaeus stylirostris* (azul), *Penaeus californiensis* (café), *Penaeus vannamei* (blanco), *Penaeus occidentalis* (blanco del Sur) y *Penaeus brevirostris* (cristal o rojo), en aguas de jurisdicción federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California. D.O.F., México, 8 de abril de 1992, 1: 24-25.

Diario Oficial de la Federación. 1992. Acuerdo por el que se levanta la veda para la pesca de las especies de camarón de altamar y de aguas protegidas de jurisdicción federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California. D.O.F., México, 18 de agosto de 1992, 1: 27.

Diario Oficial de la Federación. 1993. Norma Oficial Mexicana de emergencia por la que se establece veda para la captura de las especies de camarón en aguas marinas y de los sistemas lagunarios-estuarinos de jurisdicción federal del Golfo de México. D.O.F., México, 19 de mayo de 1993, 1: 32-33.

Diario Oficial de la Federación. 1993. Norma Oficial Mexicana de Emergencia NOMEM-007-PESC-1993, para determinar las épocas y zonas de veda para la captura de diferentes especies de la flora y fauna acuáticas, en aguas de jurisdicción

federal de los Estados Unidos Mexicanos. D.O.F., México, 14 de septiembre de 1993, 1: 39-42.

Diario Oficial de la Federación. 1994. Aviso por el que se da a conocer el establecimiento de la veda para la captura de las especies de camarón en aguas marinas de jurisdicción federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California. D.O.F., México, 6 de mayo de 1994, 1: 71-72.

Diario Oficial de la Federación. 1994. Aviso por el que se da a conocer que se levanta la veda de las especies de camarón en aguas marinas y de los sistemas lagunarios estuarinos de jurisdicción federal del océano Pacífico, incluyendo el golfo de California. D.O.F., México, 2 de septiembre de 1994, 1: 95.

Diario Oficial de la Federación. 1995. Aviso por el que se da a conocer el establecimiento de la veda para la captura de las especies de camarón en aguas marinas de jurisdicción federal del Océano Pacífico, incluyendo el golfo de California. D.O.F., México, 11 de abril 1995, 1: 25-27.

Diario Oficial de la Federación. 1995. Aviso por el que se da a conocer que se levanta la veda para la captura de las especies de camarón en aguas marinas y de los sistemas lagunarios estuarinos de jurisdicción federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California. D.O.F., México, 24 de agosto de 1995, 1: 2.

Diario Oficial de la Federación. 1996. Aviso por el que se da a conocer el establecimiento de la veda para la captura de las especies de camarón en los sistemas lagunarios-estuarinos, marismas y bahías de los estados de Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit, así como en las aguas marinas comprendidas dentro de la Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado. D.O.F., México, 28 de febrero de 1996, 1: 5.

Diario Oficial de la Federación. 1996. Aviso por el que se reforma el artículo segundo del diverso por el que se da a conocer que se levanta la veda para la captura de las especies de camarón en aguas marinas y de los sistemas lagunarios estuarinos de jurisdicción federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California, publicado el 23 de agosto de 1996. D.O.F., México, 29 de agosto de 1996, 1: 12-15.



Diario Oficial de la Federación. 1997. Aviso por el que se da a conocer el establecimiento de la veda para la captura de las especies de camarón en aguas marinas de Jurisdicción Federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California. D.O.F., México, 24 de abril de 1997, 1: 4.

Diario Oficial de la Federación. 1997. Aviso por el que se da a conocer que se levanta la veda para la captura de las especies de camarón en aguas marinas y de los sistemas lagunarios estuarinos, marismas y bahías de jurisdicción federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California. D.O.F., México, 27 de agosto de 1997, 1: 2-3.

Diario Oficial de la Federación. 1998. Aviso por el que se da a conocer el establecimiento de la veda para la captura de las especies de camarón en aguas marinas de jurisdicción federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California. D.O.F., México, 4 de mayo de 1998, 1: 4-5.

Diario Oficial de la Federación. 1998. Aviso por el que se da a conocer que se levanta la veda de camarón en aguas marinas y de los sistemas lagunarios estuarinos, marismas y bahías de jurisdicción federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California. D.O.F., México, 4 de septiembre de 1998, 1: 14.

Diario Oficial de la Federación. 1999. Aviso por el que se da a conocer el establecimiento de la veda para la captura de las especies de camarón en aguas de jurisdicción federal de los sistemas lagunarios estuarinos, marismas y bahías de los estados de Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit, así como en las aguas marinas del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California. D.O.F., México, 26 de febrero de 1999, 1: 13-14.

Diario Oficial de la Federación. 1999. Aviso por el que se da a conocer que se levanta la veda para la captura de las especies de camarón en aguas marinas y de los sistemas lagunarios estuarinos, marismas y bahías de jurisdicción federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California. 25 de agosto de 1999,

Diario Oficial de la Federación. 2000. Aviso por el que se da a conocer el establecimiento de la veda temporal para la captura de las especies de camarón en

aguas marinas de jurisdicción federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California D.O.F., México, 1: 49-87.

Diario Oficial de la Federación. 2000. Aviso por el que se da a conocer que se levanta la veda de camarón en aguas marinas y de los sistemas lagunarios estuarinos, marismas y bahías de jurisdicción federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California. D.O.F., México, 25 de agosto de 2000, 1: 43-44.

Diario Oficial de la Federación. 2001. Aviso por el que se da a conocer el establecimiento de la veda temporal para la pesca de las especies de camarón en aguas de jurisdicción federal de los sistemas lagunarios estuarinos, marismas y bahías de los estados de Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit, así como en las aguas marinas comprendidas dentro de la reserva de la biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado. D.O.F., México, 22 de febrero de 2001. 1: 18-25.

Diario Oficial de la Federación. 2001. Aviso por el que se modifica la fecha de levantamiento de la veda de camarón en las aguas marinas de jurisdicción federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California, establecida en el artículo único fracción II del diverso publicado el 7 de septiembre de 2001. D.O.F., México, 17 de septiembre de 2001, 1: 20.

Diario Oficial de la Federación. 2002. Aviso por el que se da a conocer el establecimiento de la veda temporal para la pesca de las especies de camarón en aguas marinas de jurisdicción federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California, así como de los sistemas lagunarios estuarinos, marismas y bahías de los estados de Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit. D.O.F., México, 7 de marzo de 2002, 1: 8-10.

Diario Oficial de la Federación. 2002. Aviso por el que se da a conocer que se levanta la veda de camarón en aguas marinas y de los sistemas lagunarios estuarinos, marismas y bahías de jurisdicción federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California. D.O.F., México, 9 de septiembre de 2002, 1: 66 67.

Diario Oficial de la Federación. 2003. Aviso por el que se da a conocer el establecimiento de la veda temporal para la pesca de las especies de camarón en aguas marinas de jurisdicción federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California, así como de los sistemas lagunarios estuarinos, marismas y bahías de los estados de Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit. D.O.F., México, 13 de marzo de 2003, 1: 20-21.

Diario Oficial de la Federación. 2003. Aviso por el que se modifican las zonas y fechas establecidas en el aviso por el que se da a conocer que se levanta la veda de camarón en aguas marinas y de los sistemas lagunarios estuarinos, marismas y bahías de jurisdicción federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California, publicado el 28 de agosto de 2003. D.O.F., México, 5 de septiembre de 2003, 1: 43-53.

Diario Oficial de la Federación. 2004. Aviso por el que se da a conocer el establecimiento de la veda temporal para la pesca de las especies de camarón en aguas marinas de jurisdicción federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California; así como de los sistemas lagunarios-estuarinos, marismas y bahías de los estados de Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit. D.O.F., México, 25 de marzo de 2004, 1: 40-41.

Diario Oficial de la Federación. 2004. Aviso por el que se da a conocer que se levanta la veda de camarón en las aguas marinas de jurisdicción federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California. D.O.F., México, 18 de septiembre de 2004, 1: 3-4.

Diario Oficial de la Federación. 2005. Acuerdo por el que se da a conocer el establecimiento de veda temporal para la captura de todas las especies de camarón existentes en las aguas marinas de jurisdicción federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California y en los sistemas lagunarios estuarinos, marismas y bahías de los estados de Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit. D.O.F., México, 18 de septiembre de 2005, 1: 34-38.

Diario Oficial de la Federación. 2005. Acuerdo por el que se da a conocer que se levanta la veda temporal para la captura de todas las especies de camarón en las aguas de jurisdicción federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California, así como en los sistemas lagunarios estuarinos, marismas y bahías de los estados de Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit. D.O.F., México, 2 de septiembre de 2005, 1: 14-21.

Diario Oficial de la Federación. 2006. Acuerdo por el que se establece veda temporal para la pesca de las especies de camarón en aguas marinas de jurisdicción federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California, así como de los sistemas lagunarios estuarinos, marismas y bahías de los estados de Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit. D.O.F., México, 23 de septiembre de 2006, 2: 62-66.

Diario Oficial de la Federación. 2006. Acuerdo por el que se da a conocer que se levanta la veda temporal para la captura de todas las especies de camarón en las aguas marinas de jurisdicción federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California, así como en los sistemas lagunarios estuarinos, marismas y bahías de los estados de Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit. D.O.F., México, 8 de septiembre de 2006, 1: 12-23.

Diario Oficial de la Federación. 2007. Acuerdo de veda temporal para la pesca de las especies del camarón en aguas marinas de jurisdicción federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California, así como de los sistemas lagunarios, estuarinos, marismas y bahías de los estados de Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit. D.O.F., México, 30 de marzo de 2007, 1: 57:58.

Diario Oficial de la Federación. 2007. Acuerdo por el que se da a conocer que se levanta la veda temporal para la captura de todas las especies de camarón en las aguas marinas de jurisdicción federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California, así como en los sistemas lagunarios estuarinos, marismas y bahías de los estados de Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit. D.O.F., México, 14 de septiembre de 2007, 1: 58-59.

Diario Oficial de la Federación. 2008. Acuerdo por el que se establece veda temporal para la pesca de todas las especies de camarón en las aguas marinas de jurisdicción federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California, así como de los sistemas lagunarios estuarinos, marismas y bahías de los estados de Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit. D.O.F., México, 20 de marzo de 2008, 1: 11-25.

Diario Oficial de la Federación. 2008. Acuerdo por el que se da a conocer que se levanta la veda temporal para la pesca de todas las especies de camarón en las aguas marinas de jurisdicción federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California, así como en los sistemas lagunarios estuarinos, marismas y bahías de los estados de Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit. D.O.F., México, 3 de septiembre de 2008, 1: 67-96.

Dorogovtsev S.N. & J.F.F. Mendes. 2003. Evolution of network from biological nets to the internet and www. Oxford University Press. Oxford, U.S.A., 280 p.

Dunne J.A., R.J. Williams, N.D. Martinez. 2002a. Food-web structure and network theory: The role of connectance and size. PNAS, 99(20): 12917-12922.

Dunne, J.A., R.J. Williams & N.D. Martinez. 2002b. Network structure and biodiversity loss in food webs: robustness increases with connectance. Ecology Letters, 5: 558-5567.

Duncan, J.W. 2006. Seis grados de separación "La ciencia de las redes en la era del acceso". PAIDÓS TRANSICIONES, 386 p.

FAO. 1995. Código de conducta para la pesca responsable. ONU. Roma, Italia. 46 p.

Eayrs, S. 2007. Guía para reducir la captura de fauna incidental (by-catch) en las pesquerías por arrastre de camarón tropical. FAO. Roma, Italia, 108 p.

FAO. 2009. Estado mundial de la pesca y la acuicultura 2008. Departamento de pesca y acuicultura. Roma, Italia, 196 p.

Fausch, K.D., J. Lyons, J.R. Karr & P.L. Angermeier. 1990. Fish communities as indicators of environmental degradation. Am. Fish. Soc. Symp. 8:123–144.

Fisher, W., F. Krupp, W. Schneider, K. Sommer, E. Carpenter & V.H. Niem. 1995. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca, *Pacífico Centro Oriental*. FAO. Vol. II and III. 648-1813.

Fulton, E. A., A. Smith. 2005. Which ecological indicators can robustly detect effect of fishing of ?. *Marine Science* 62:540-551.

Freeman L. C. 1979. Centrality in Social Networks: Conceptual Clarification. *Social Networks* 1: 215-239.

Froese, R. & D. Pauly. Editors. 2007. FishBase. World Wide Web electronic publication. [www.fishbase.org](http://www.fishbase.org), versión (05/2007)[ con acceso el 5 junio de 2007].

García- Caudillo, J. M. & J.V. Gómez- Palafox. 2005. La pesca industrial de camarón en el Golfo de California: Situación económica-Financiera e impactos socio-ambientales. Conservación Internacional-Región Golfo de California. Guaymas, Sonora. México.

González-Sansón, G., B. Aguilar-Palomino, J. Arciniega-Flores, R. García de Quevedo-Machain, E. Godínez-Domínguez, V. Landa-Jaime, J. Mariscal-Romero, J.E. Michel-Morfín, J.E. & M. Saucedo-Lozano. 1997. Variación espacial de la abundancia de la fauna de fondo blando en la plataforma continental de Jalisco y Colima, México (primavera 1995). *Ciencias Marinas*, 23(1):93-110.

Guillett, R. 2008. Global study of shrimp fisheries. FAO Fishery technical paper 475. Roma, Italia, 331 p.

Goodaire, E.G. & M.M. Parmenter. 2006. Discrete Mathematics with Graph Theory.. Pearson Prentice Hall. New Jersey, U.S.A., 461 p.

Goh K.I., H. Jeong, B. Kahng & D. Kim. 2002. Classification of scale-free networks, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 99:12583–12588.

Graham, N., R.S.T. Ferro, W.A. Karp & P. MacMullen. 2007. Fishing practice, gear design and the ecosystem approach – three case studies demonstrating the effect of management strategy on gear selectivity and discards. *ICES Journal of Marine Science* 64:744-750.

- Gray, J.S. 1981. The ecology of marine sediments (An introduction to the structure and function of benthic communities). Cambridge University Press. New York, 185 p.
- Helfman G.S. 1978. Patterns of communities structure in fish: Summary and Overview Environmental Biology of Fishes 3:129:149
- Hannon, B. 1973. The structure of ecosystems. J. Theor. Biol. 41:535-546.
- Harary, F. 1959. Status and Contrastatus. Sociometry, 22: 23-43.
- Heymans, J., S. Guénette & V. Cristensen. 2007. Evaluation network analysis indicator of ecosystem status in the Gula of Alaska. Ecosystem.10.1007/s10021-007-9034-y: 156-164.
- Hendrickx, M. E., A. M. van der Heiden & A. Toledano-Granados. 1984. Resultados de las campañas SIPCO I-III (Sur de Sinaloa, México) a bordo de B/O "El Puma". Hidrología y composición de las capturas efectuadas en los arrastres. *An. Inst. Cienc. Mar. Limnol.*, UNAM. México, 11(1):107-122.
- Hiddink, J.G., T.Hutton, S. Jennings & M.J. Kaiser. 2006. Predicting the effect of area closures and fishing effort restriction on the production, biomass and species richness of benthic invertebrate communities. Marine Science 63: 822-830.
- Hiddink, J.G., S. Jennings, M.J. Kaiser, A.M. Queiros, D.E. Duplisea & G.J. Piet. 2006. Cumulative impact of seabed trawl disturbance on benthonic biomass, production y species rich in different habitats. Fish Aquat. Sci. 63: 721-736.
- Hutchenson K. 1970. A test for comparing diversities based on the Shannon formula. J. Theor. Biol. 29: 151-154.
- Ibañez J.J., M. Ruiz-Ramos. 2006. A mathematical comparison of classification structures: The case of the USDA Soil Taxonomy. Eurasian soil Science. 7:712-719.
- Instituto Nacional de la Pesca. 2000. Sustentabilidad y Pesca Responsable en México, Evaluación y Manejo, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México, 691 p.

Izquierdo, L.R. & R.A. Hanneman. 2006. Introduction to the formal analysis of social networks using mathematical Version 2. [Publicado en línea]. Disponible en: <http://www.luis.izquierdo.name.Burgos, Spain.> [Con acceso el 7-13-2008].

Jacob R., D. Koschützki, K.A. Lehman, L. Peeters & D. Tenfelde-Podehl. 2005. Algorithms for centrality indices. 62-82. En: Brandes, U. y T. Erlebach (eds.). *Network Analysis*. Springer. Germany, 472 p.

Jennings, S., S.P.R. Greenstreet & J.D. Reynolds. 1999. Structural changes in an exploited fish community: a consequence of differential fishing effects on species with contrasting life histories. *Journal of Animal Ecology*, 68(3): 617–627.

Jenning, S. & J.G. Reynolds. 2000. Impact fishing on diversity: from pattern to process. 235-248. In: Kaiser M., & S.J. de Groot. *Effect of fishing on Non-Target Species and Habitats*. Blackwell Science. USA, 399 p.

Jones, J.B. 1992. Environmental impact of trawling on the seabed: a review. *Journal of Marine and Freshwater Research*. 26: 59-67.

Jordán, F., A. Takács-Sánta, & I. Molnár. 1999. A reliability theoretical quest for keystones. *Oikos*, 86: 453-462.

Jordán, F. & I. Scheuring. 2004. Network ecology: topological constraints on ecosystem dynamics. *Physics of Life reviews*, 1: 139-172.

Jordán, F. 2005. Topological key players in communities: the network perspective. En: Tiezzi, E. C.A. Brebbia, S. Jörgensen y D. Almorza (eds.). *Ecosystems and sustainable Development V*. WIT Press. 87-96 p.

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

Jouffre, D., & C.A. Inejih. 2005. Assessing the impact of fisheries on demersal fish assemblages of the Mauritanian continental shelf, 1987-1999, using dominance curves. *ICES Journal of Marine Science*, 62: 380-383.



Junker, H.B. & F. Schreiber. 2008. Analysis of biological networks. Wiley Interscience. U.S.A., 346 p.

Kay, J. J., L. A. Graham & R. E. Ulanowicz. 1989. A detailed guide to network analysis. En: F. Wulff, J. G. Field, & K. H. Mann, (Ed.). Network analysis in marine ecology: Methods and applications. Springer-Verlag, Germany, 15-61.

Kelleher, K. 2008. Descartes de la captura marina mundial. Una actualización. FAO. Roma, Italia, 147 p.

Kaiser, M.J., D.B. Edwards, P.J. Armstrong, K. Radford, N.E.L. Lough, R.P. Flatt & H.D. Jones. 1998. Changes in mega faunal benthic communities in different habitats after trawling disturbance. *Journal of Marine Science*, 55: 353-361.

Kaiser M.J., S.C. Jeremy, J.H. Stephen, S. Jennings & I.R. Poiner. 2002. Modification of marine habitats by trawling activities: prognosis and solutions. *Fish and Fisheries*, 3: 1-24.

Kessler, W.S. 2006. The circulation of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69: 181–217.

Kolasa, J. & S.T.A. Pickett. 1989. Ecological Systems and the Concept of Biological Organization. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 86 (22): 8837-8841.

Koschützki, D., K.A. Lehmann, L. Peeters, S. Richter, D. Tenfelde-Podehl & O. Zlotowski. 2005. Centrality indices. 16-61. En: Brandes, U. y T. Erlebach (eds.). *Network Analysis*. Springer. Germany, 472 p.

Koschützki, D., K.A. Lehmann, L. Peeters, S. Richter, D. Tenfelde-Podehl & O. Zlotowski. 2005. Advanced Concepts. 83-104. En: Brandes, U. y T. Erlebach (eds.). *Network Analysis*. Springer. Germany, 472 p.

Koschützki, D. 2008. Network centralities. 65-84. En: Junker, H.B. y F. Schreiber. *Analysis of biological networks*. Wiley Interscience. U.S.A. 346 p.

Lambshead, P.J.D., H.M. Platt & K.M. Shaw. 1983. The detection of differences among assemblages of marine benthic species based on an assessment of dominance and diversity. *Journal of Natural History*. 17: 859-874.

Leontief, W. W. 1951. *The structure of the American economy, 1919-1939*. Oxford University Press, New York. Recopilación de trabajos sobre estructura de la economía americana ligados al Harvard Economic Project.

Leonard, D.R.P., K. R. Clarke, P.J. Somerfield & R.M. Warwick. 2006. The application of an indicator based on taxonomic distinctness for UK marine biodiversity assessments. *Environmental Management* 78:52-62.

Lekve, K., N. C. Stenseth, J. Gjøsæter & S. Dolédec. 2002. Species richness and environmental conditions of fish along the Norwegian Skagerrak coast. *ICES J. Marine Science* 59: 757-769.

López, M.L. 1981. Los "roncadores" del género *Pomadasys* (*Haemulopsis*) [Pisces: *Haemulidae*] de la costa Pacífica de Centro América. *Rev. Biol. Trop.*, 29 (1): 83-94.

López-Avilés, R. 1986. *Morfología y sedimentos superficiales de la porción meridional de la plataforma continental de Sinaloa, México*. Tesis de Ingeniería Geológica, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de México, México, 58p.

Loya D.H. & A. Escofet. 1990. Aportaciones al cálculo del Índice de Valor Biológico (Sanders, 1960). Contribution to the calculation of the Biological Value Index (Sanders, 1960). *Ciencias Marinas* 16: 97-115.

Magallón-Barajas, F. 1987. The Pacific shrimp fishery of Mexico. *CalCOFI Rep.*, 28:43-52

Magurran, A.E. 1988. *Ecological Diversity and its Measurement*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 179 p.

Magurran A.E. 2004. *Measuring Biological Diversity Ecological*. Blackwell Science Ltd. United Kingdom, 247 p.

Manjarrez A.C. 2001. Variación estacional de la comunidad de peces de fondos blandos del área costera del sur de Sinaloa. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, 145 p.

Mariscal-Romero, J. & A.M. van der Heiden. 2006. Peces de importancia ecológica y Comercial asociados a fondos blandos en la plataforma continental de Jalisco y Colima, México. En: Jiménez-Quiroz, M.C. & E. Espino-Barr. Los Recursos Pesqueros y Acuícolas de Jalisco, Colima y Michoacán, INAPESCA, SAGARPA, México, 622 p.

Margalef, R. 1982. Ecología. Ediciones Omega S. A., Barcelona. España. 951p.

Mitzenmacher M. 2004. A Brief History of Generative Models for Power Law and Lognormal Distributions. *Internet Mathematics* 1(2): 226-251.

Medo, M. & J. Smerek. 2008. Heterogeneous network with distance dependent connectivity. [Publicado en línea]. Disponible en: [http://arXiv:0802.1431v1\[physics.soc.-ph\]](http://arXiv:0802.1431v1[physics.soc.-ph]). [Con acceso el 8-8-2008].

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

Molina, L.J., A. Quiroga & A. de Federico. 2006. Taller de autoformación con programas informáticos de análisis de redes sociales. España, 107 p.

Moore, A.J., A.A. Lew, J.A. Cunningham & M. Kachuba. 1981. Fish communities as Indicators of Environmental Quality in the West River Watersshed. *Yale F & ES Boletín* 100: 178-196.

Moreno, C. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. CYTED, ORCYT-UNESCO Y SEA. Primera edición. Manuales & Tesis Sea 1. 84 p.

Mouillot, D., S. Gaillard, C. Aliaume, M. Verlaque, T. Belsher, M. Troussellier & T.D. Chi. 2005. Ability of taxonomic diversity indices to discriminate coastal lagoon environments based on macrophyte communities. *Ecological Indicators*, 5: 1–17.

Munari, C. & M. Mistri. 2008. Biodiversity of soft-sediment benthic communities from Italian transitional waters. *J. Biogeogr.* 35: 1622-1637.

Nieto-Navarro. J.T., M. Zetina-Rejón, F. Arreguín-Sánchez & D.S. Palacios-Salgado. (en prensa). Seasonal changes in fish assemblages of soft bottom habitats along the eastern coast of the mouth of the Gulf of California. *Community Ecology*.

Newman M.E.J. 2003. The structure and function of complex networks. *Siam Review* 45 (2): 167-256.

Nelson, J.S. 2006. *Fishes of the world*. Fourth edition. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. U.S.A.

Odum, P. 1972. *Ecologia*. Interamericana S.A. México. 640 p.

Olden, J. D., N. LeRoy Poff, M.R. Douglas, M.E. Douglas & K.D. Fausch. 2004. Ecological and evolutionary consequences of biotic homogenization. *Trends in Ecology and Evolution*, 19(1): 18-24

Ortiz-Pérez, M.A, G. De La Lanza, M.P. Salazar & J.L. Carbajal. 2006. *Diferenciación del espacio costero e México: un inventario regional*. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 137 p.

Pérez-Mellado. J. & L.T. Findley. 1985. Evaluación de la ictiofauna acompañante del camarón capturado en las costas de Sonora y Norte de Sinaloa. México, Cap. 5: 201-254. En: Yañez Arancibia, A. Ed. *Recursos pesqueros potenciales de México: La pesca acompañante del camarón*. Progr. Univ. de Alimentos, Int. Cienc. del Mar y Limnol. INP, UNAM, México D.F. 748 p.

Pitcher, J. T. & J. K. Parrish. 1993. Functions of schooling behavior in teleosts. 363-440. In: Pitcher, J. T. *Behavior of Teleost Fishes* 2<sup>nd</sup> edn. Ed. Chapman and Hall, New York.

Plascencia-González, H. C. 1993. *Contribución al conocimiento de las comunidades de peces asociados a los fondos blandos de la plataforma continental del sur de Sinaloa (Proyecto SIPCO)*. Facultad de Ciencias de la UNAM. Tesis de Maestría. México, D.F., 200 p.

- Pielou, E.C. 1975. Ecological diversity. Wiley Interscience, New York, 627 p.
- Poole, R.W. 1974. An introduction to quantitative ecology. McGraw-Hill. USA. 532p.
- Ramos-Miranda, J., D. Mouillot, D. Flores, A. Sosa, T. D. Chi & L. Ayala. 2005. Changes in four complementary facets of fish diversity in a tropical coast lagoon after 18 years: a functional interpretation. Marine Ecology Progress Series. 304:1-13.
- Ratkowsky, D.A. 1990. Handbook of Nonlinear Regression Models. Marcel Dekker, New York, 241 p.
- Rice, J. C. 2000. Evaluation fishery impact using metrics of community structure. ICES Journal of Marine Science, 57: 683-687.
- Roberson, D. R. & G. R. Allen. 2006. Shorefishes of the tropical eastern Pacific: an information system Ver. 2.0. Smithsonian Tropical Research Institute. Balboa. Panamá.
- Rodríguez-Cajica, S.R. 1996. Contribución al conocimiento de la fauna de acompañamiento del camarón frente a las costas de Sinaloa, México. Esc. De Biología, U.A.G. Tesis de Licenciatura. Guadalajara Jalisco, México. 124 p.
- Rodríguez-De la Cruz G.M. 1981a. Estado actual de la pesquería en el Pacífico mexicano. Ciencia Pesquera INAPES. I (1):53:60
- Rodríguez-De la Cruz G. M. 1981b. Aspectos pesqueros del camarón de alta mar en el Pacífico mexicano. Ciencia Pesquera INAPES. I (2):1-19.
- Rogers. S.I., K.R. Clarke, J.D. Reynolds. 1999. The taxonomic distinctness of coastal bottom-dwelling fish communities of the Northeast Atlantic. Journal Animal Ecology, 68:769-782.
- Salcido-Guevara L.A. & F. Arreguín-Sánchez. 2007. A benthic ecosystem model of the Sinaloa continental Shelf, Mexico. INCOFISH Ecosystem models: Transiting from Ecopath to Ecospace. Fishery Center Research Report. 15: 170-187
- Sanders H.L. 1960. Bentic studies in Buzzard Bay. III. Th estructure of the soft-botton community. Limnol. Oceanogr. 5: 138-153.

- Schratzberger, M. & S. Jennings. 2002. Impacts of chronic trawling disturbance on meiofaunal communities. *Marine biology*, 141(5): 991-1000.
- Schreiber F. 2008. Graph theory. 15-28. En: Björn, H.J. & F. Schreiber. Wiley Interscience. New Jersey. U.S.A.
- Scotti, M. 2007. Single species features in ecological networks. Ph D. Thesis. Department of Environmental Sciences University of Parma. [Publicado en línea]. Disponible en línea en: [http://www.dsa.unipr.it/netanalysis/?people: Marco\\_Scotti](http://www.dsa.unipr.it/netanalysis/?people: Marco_Scotti). 158 pp. [Con acceso el 18-7-2008].
- Solé, R.V. & J.M. Montoya. 2001. Complexity and fragility in ecological networks. *Procc. R. Soc. Lond.*, 268: 2039-2045.
- Sosa, L.A. 2005. Ecological process and dynamics of the fish communities in the terminus lagoon, Golf of Mexico. Tesis de Doctorado. Université Montpellier II Sciences et Techniques du Languedos, Francia. 162p.
- Sparre, P. & C. Venema. 1997. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales Parte I Manual. FAO. Roma, Italia, 560 p.
- Smith, R. & T. Smith. 2006. Ecología Cuarta edición. Editorial Pearson Education, S.A. Madrid. 642 p.
- Steuer R. & L.Z. Zamora. 2008. Global network properties. En: Björn, H.J. y F. Schreiber. Wiley Interscience.. New Jersey, U.S.A., 31-63 p.
- Thrush, S. & P. Dayton. 2002. Disturbance to marine benthic habitats by trawling and dredging. Implications for marine biodiversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 33: 449-473.
- Ulanowicz, R. E., & F. Wulff. 1991. Comparing ecosystem structures: the Chesapeake Bay and the Baltic Sea. En: J. Cole, G. Lovett, y S. Findlay, (Ed.). *Comparative analysis of ecosystems, pattern, mechanism and theories*. Springer-Verlag, New York.

- Ulanowicz, R.E. & T. Platt. 1985. Ecosystems theory for biological oceanography. *Can. J. Fis. Aquat. Sci.* 213:260.
- van der Heiden, A.M. 1985. Taxonomía, biología y evaluación de la ictiofauna demersal del Golfo de California, Cap. 4 : 149-200. En: Yañez-Arancibia, A. Ed. Recursos pesqueros potenciales de México: La pesca acompañante del camarón. *Progr. Univ. de Alimentos, Int. Cienc. del Mar y Limnol. INP, UNAM, Méxco D.F.* 748 p.
- Vasas, V. & F. Jordán. 2006. Topological keystone especies in ecological interaction networks: considering link quality and nontrophic effect. *Ecological Modeling* 196: 365-378.
- Valdemarsen, J.W., T. Jorsensen, & A. Engas. 2007. Options to mitigate bottom habitat impact of dragged gears. *FAO Fisheries Technical Paper* 506. Roma, Italia, 29 p.
- Villaseñor-Talavera, R. (1997). Dispositivos excluidores de tortugas marinas. *FAO Documento Técnico de Pesca*. No. 372. FAO. Roma, Italia, 116 p.
- Watling, L. & E. Norse. 1998. Disturbance of the seabed by mobile fishing gear: a comparison to forest cutting. *Conservation Biology*, 12(6): 1180-1197
- Warwick R.M. 1986. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities, *Marine Biology*, 92, 557–562.
- Warwick, R.M. & K.R. Clarke 1995. Multivariate measures of communities stress and their application to marine pollution studies in the East Asian region. *Phuket Mar. Boil. Cen Res. Bull.* 60: 99-113.
- Warwick, R.M., K.R. Clarke. 1998. Taxonomic distinctness and environmental assessment. *Journal of Applied Ecology*, 35, 532-54.
- Warwick, R.M. & K.R. Clarke. 2001. Practical measures of marine biodiversity based on relatedness of species. *Oceanography and Marine Biology*. 39: 207-231.

Warwick R.M., C.M. Ashman, A.R. Brown, K.R. Clarke, B. Dowell, B. Hart, R.E. Lewis, N. Shillabeer, P.J. Somerfield & J.F Tapp. 2002. Inter-annual changes in the biodiversity and community structure of the macrobenthos in Tees Bay and Tees estuary, UK, associated with local and regional environmental events. *Marine Ecology Progress Series*, 234: 1-13.

Walker, H.J. & K.W. Radford. 1992. Eastern Pacific species of the genus *Umbrina* (Pisces:Sciaenidae) with a description of a new specie. *Fish. Bull.*, 90 (3): 574-587.

Way, T., D.T. Blamstein, W. Shen & F. Jordán. 2008. Social network analysis of animal behavior: a promising tool for study of sociality. *Animal Behavior*, 75: 333-344.

Wilson R.J. & Watkins. 1990. *Graphs an introductory approach*. Wiley Interscience. New York. U.S.A. John Wiley & Sons, Inc. 333 p.

Wootton R.J. 1990. *Ecology of teleosteos fishes*. Chapman and Hall. New York, U.S.A., 404 p.

Wyrtki, K. 1967. Circulation and water masses in the eastern equatorial Pacific Ocean. *Int. J. Oceanol. and Limnol.* 1 (2): 117-147.

Yáñez-Arancibia, J. & P. Sánchez-Gil. 1985. Distribución y abundancia de las especies dominantes en las poblaciones de especies demersales de la plataforma continental Mexicana del Golfo de México. Cap. 8: 315-398 En: Yáñez Arancibia, A. Ed. Recursos pesqueros potenciales de México: La pesca acompañante del camarón. Progr. Univ. de Alimentos, Int. Cienc. del Mar y Limnol. INP, UNAM, México D.F. 748 p.

Yáñez-Arancibia, J. & P. Sánchez-Gil. 1988. *Ecología de los recursos demersales marinos*. AGT Editors S.A. México, D.F. 228 p.

Yemane D., J.G. Field & R.W. Leslie. 2005. Exploring the effects of fishing on fish assemblages using abundance biomass comparison (ABC) curves. *ICES Journal of Marine Science*, 62: 374-379.



## 11. ANEXOS.

Anexo 1. Elenco sistemático. El arreglo de los taxa, sigue la clasificación propuesta por Nelson (2006) y en orden alfabético los géneros con sus respectivas especies.

### PHYLUM CHORDATA

#### Subphylum Craniata

#### Superclase Gnathostomata

#### Clase Chondrichthyes

#### Subclase Elamosbranchii

#### Orden Torpediniformes

#### Familia Narcinidae

*Narcine vermiculatus* (Breder, 1928)

#### Orden Rajiformes

#### Familia Rhinobatidae

*Rhinobatos glaucostigma* (Jordan & Gilbert, 1883)

#### Orden Myliobatiformes

#### Familia Urolophidae

*Urotrygon aspidura* (Jordan & Gilbert, 1882)

*Urotrygon chilensis* (Günther, 1872)

*Urotrygon munda* (Gill, 1863)

*Urotrygon nana* (Miyake & McEachran, 1988)

*Urotrygon rogersi* (Jordan & Starks, 1895)

#### Familia Gymnuridae

*Gymnura marmorata* (Cooper, 1864)

#### Familia Myliobatidae

*Rhinoptera steindachneri* (Evermann & Jenkins, 1892)

Clase Actinopterygii

Subclase Neopterygii

División Teleostei

Subdivisión Elopomorpha

Orden Albuliformes

Suborden Albuloidei

Familia Albulidae

*Albula pacifica* (Beebe, 1942)

Orden Anguilliformes

Suborden Muraenoidei

Familia Muraenidae

*Gymnothorax equatorialis* (Hildebrand, 1946)

Suborden Congroidei

Familia Ophichthidae

*Ophichthus triserialis* (Kaup, 1856)

*Ophichthus zophochir* (Jordan & Gilbert, 1882)

Familia Muraenesocidae

*Cynoponticus coniceps* (Jordan & Gilbert, 1882)

Subdivisión Ostarioclupeomorpha

Superorden Clupeomorpha

Orden Clupeiformes

Suborden Clupeoidei

Familia Pristigasteridae

*Opisthopterus dovii* (Günther, 1868)

*Pliosteostoma lutipinnis* (Jordan & Gilbert, 1882)

Familia Engraulidae

*Anchoa lucida* (Jordan & Gilbert, 1882)

*Anchoa walkeri* (Baldwin & Chang, 1970)

*Anchovia macrolepidota* (Kner, 1863)

Familia Clupeidae

*Lile stolifera* (Jordan & Gilbert, 1882)

*Opisthonema libertate* (Günther, 1867)

Superorden Ostariophys

Orden Siluriformes

Familia Ariidae

*Bagre panamensis* (Gill, 1863)

*Cathorops* spp.

*Sciades seemanni* (Günther, 1864)

*Sciades* spp.

Superorden Cyclosquamata

Orden Aulopiformes

Suborden Synodontoidei

Familia Synodontidae

*Synodus lucioceps* (Ayres, 1855)

*Synodus scituliceps* (Jordan & Gilbert, 1882)

Superorden Paracanthopterygii

Orden Ophidiiformes

Suborden Ophidioidei

Familia Ophidiidae

*Brotula clarkae* (Hubbs, 1944)

*Lepophidium prorates* (Jordan & Bollman, 1890)

Orden Batrachoidiformes

Familia Batrachoididae

*Porichthys analis* (Hubbs & Schultz, 1939)

Orden Lophiiformes

Suborden Lophioidei

Familia Lophiidae

*Lophiodes caulinaris* (Garman, 1899)

Suborden Antennarioidei

Familia Antennariidae

*Antennarius avalonis* (Jordan & Starks, 1907)

Suborden Ogcocephaloidei

Familia Ogcocephalidae

*Zalieutes elater* (Jordan & Gilbert, 1882)

Superorden Acanthopterygii

Serie Mugilomorpha

Orden Mugiliformes

Familia Mugilidae

*Mugil cephalus* (Linnaeus, 1758)

*Mugil curema* (Valenciennes, 1836)

Serie Percomorpha

Orden Gasterosteiformes

Suborden Syngnathoidei

Familia Fistulariidae

*Fistularia corneta* (Gilbert & Starks, 1904)

Orden Scorpaeniformes

Suborden Scorpaenoidei

Familia Scorpaenidae

*Pontinus sierra* (Gilbert, 1890)

*Scorpaena histrio* (Jenyns, 1840)

*Scorpaena russula* (Jordan & Bollman, 1890)

Suborden Platycephaloidei

Familia Triglidae

*Bellator loxias* (Jordan, 1897)

*Bellator xenisma* (Jordan & Bollman, 1890)

*Prionotus ruscarius* (Gilbert & Starks, 1904)

*Prionotus stephanophrys* (Lockington, 1881)

Orden Perciformes

Suborden Percoidei

Familia Centropomidae

*Centropomus robalito* (Jordan & Gilbert, 1882)

Familia Serranidae

*Diplectrum labarum* (Rosenblatt & Johnson, 1974)

*Diplectrum maximum* (Hildebrand, 1946)

*Diplectrum pacificum* (Meek & Hildebrand, 1925)

*Epinephelus acanthistius* (Gilbert, 1892)

*Epinephelus exsul* (Fowler, 1944)

*Hemanthias peruanus* (Steindachner, 1875)

*Paralabrax loro* (Walford, 1936)

*Rypticus nigripinnis* (Gill, 1861)

Familia Priacanthidae

*Pristigenys serrula* (Gilbert, 1891)

Familia Apogonidae

*Apogon pacificus* (Herre, 1935)

*Apogon retrosella* (Gill, 1862)

Familia Malacanthidae

*Caulolatilus affinis* (Gill, 1865)

Familia Nematistiidae

*Nematistius pectoralis* (Gill, 1862)

Familia Carangidae

*Alectis ciliaris* (Bloch, 1787)

*Caranx caballus* (Günther, 1868)

*Caranx caninus* (Günther, 1867)

*Caranx otrynter* (Jordan & Gilbert, 1883)

*Chloroscombrus orqueta* (Jordan & Gilbert, 1883)

*Hemicaranx leucurus* (Günther, 1864)

*Selar crumenophthalmus* (Bloch, 1793)

*Selene brevoortii* (Gill, 1863)

*Selene peruviana* (Guichenot, 1866)

#### Familia Lutjanidae

*Lutjanus argentiventris* (Peters, 1869)

*Lutjanus colorado* (Jordan & Gilbert, 1882)

*Lutjanus guttatus* (Steindachner, 1869)

*Lutjanus jordani* (Gilbert, 1898)

#### Familia Gerreidae

*Diapterus brevirostris* (Sauvage, 1879)

*Eucinostomus currani* (Zahuranec, 1980)

*Eucinostomus dowii* (Gill, 1863)

*Eucinostomus gracilis* (Gill, 1862)

#### Familia Haemulidae

*Anisotremus dovii* (Günther, 1864)

*Conodon serrifer* (Jordan & Gilbert, 1882)

*Haemulopsis axillaris* (Steindachner, 1869)

*Haemulopsis leuciscus* (Günther, 1864)

*Orthopristis chalceus* (Günther, 1864)

*Orthopristis* spp.

*Pomadasys bayanus* (Jordan & Evermann, 1898)

*Pomadasys panamensis* (Steindachner, 1876)

*Pomadasys* spp.

*Xenichthys xanti* (Gill, 1863)

#### Familia Polynemidae

*Polydactylus approximans* (Lay & Bennett, 1839)

#### Familia Sciaenidae

*Cynoscion phoxocephalus* (Jordan & Gilbert, 1882)

*Cynoscion reticulatus* (Günther, 1864)

*Cynoscion stolzmanni* (Steindachner, 1879)

Cynoscion spp.

Cynoscion xanthulus (Jordan & Gilbert, 1882)

Isopisthus remifer (Jordan & Gilbert, 1882)

Larimus acclivis (Jordan & Bristol, 1898)

Larimus argenteus (Gill, 1863)

Menticirrhus nasus (Günther, 1868)

Micropogonias ectenes (Jordan & Gilbert, 1882)

Ophioscion imiceps (Jordan & Gilbert, 1882)

Paralonchurus goodei (Gilbert, 1898)

Stellifer furthii (Steindachner, 1876)

Stellifer illecebrosus (Gilbert, 1898)

Umbrina analis (Günther, 1868)

Umbrina roncadorensis (Jordan & Gilbert, 1882)

Umbrina xanti (Gill, 1862)

#### Familia Mullidae

Mulloidichthys dentatus (Gill, 1862)

Pseudupeneus grandisquamis (Gill, 1863)

#### Familia Chaetodontidae

Chaetodon humeralis (Günther, 1860)

#### Suborden Gobioidi

##### Familia Gobiidae

Bollmannia ocellata (Gilbert, 1892)

#### Suborden Acanthuroidei

##### Familia Ephippidae

Chaetodipterus zonatus (Girard, 1858)

#### Suborden Scombroidei

##### Familia Sphyraenidae

Sphyraena ensis (Jordan & Gilbert, 1882)

##### Familia Trichiuridae

Trichiurus nitens (Garman, 1899)

Familia Scombridae

*Scomber japonicus* (Houttuyn, 1782)

*Scomberomorus sierra* (Jordan & Starks, 1895)

Suborden Stromateoidei

Familia Stromateidae

*Peprilus medius* (Peters, 1869)

*Peprilus snyderi* (Gilbert & Starks, 1904)

Orden Pleuronectiformes

Suborden Pleuronectoidei

Familia Paralichthyidae

*Ancylopsetta dendritica* (Gilbert, 1890)

*Citharichthys platophrys* (Gilbert, 1891)

*Cyclopsetta querna* (Jordan & Bollman, 1890)

*Etropus crossotus* (Jordan & Gilbert, 1882)

*Hippoglossina tetraphthalma* (Gilbert, 1890)

*Paralichthys* spp.

*Syacium ovale* (Günther, 1864)

Familia Bothidae

*Bothus constellatus* (Jordan, 1889)

*Bothus leopardinus* (Günther, 1862)

Familia Achiridae

*Achirus mazatlanus* (Steindachner, 1869)

*Achirus panamensis* (Gunther, 1956)

*Trinectes fonsecensis* (Günther, 1862)

Familia Cynoglossidae

*Symphurus chabanaudi* (Mahadeva & Munroe, 1990)

*Symphurus elongatus* (Günther, 1868)

*Symphurus fasciolaris* (Gilbert, 1892)



Orden Tetraodontiformes

Suborden Balistoidei

Familia Balistidae

*Balistes polylepis* (Steindachner, 1876)

Suborden Tetraodontoidei

Familia Tetraodontidae

*Sphoeroides annulatus* (Jenyns, 1842)

*Sphoeroides lobatus* (Steindachner, 1870)

*Sphoeroides sechurae* (Hildebrand, 1946)

Familia Diodontidae

*Diodon holocanthus* (Linnaeus, 1758)

Anexo 2. Programa para el sistema de captura de matrices (SICAMA) y proceso para determinar el índice diferenciación topológica ( $D_{TN}$ ).

1. Código fuente del programa SICAMA 1.0

```
Public Class frmSiCaMa
Private ttDatosTaxa As ToolTip = New ToolTip()
    Dim nodoViejo = Nothing
    Dim Matriz_Busqueda() As String
    Public UltimoNivel As Integer = 0
Private Sub frmSiCaMa_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles MyBase.Load
    Nodos = 0
    Arbol = Nothing
    Jerarquias = 0
    DT = Nothing
    tsPestanas.SelectedTab = tabElenco
End Sub

Private Sub SalirToolStripMenuItem_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles SalirToolStripMenuItem.Click
    End
End Sub

Private Sub frmSiCaMa_Resize(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles MyBase.Resize
    tsPestanas.Width = Me.Width - 16
    tsPestanas.Height = Me.Height - 65
    If lstAgregar.Visible = True Then
        twwNodos.Width = tsPestanas.Width - 295
    Else
        twwNodos.Width = tsPestanas.Width - 58
    End If
End If
```

```

twwNodos.Height = tsPestanas.Height - 198
twwJerarquia.Width = tsPestanas.Width - 58
twwJerarquia.Height = tsPestanas.Height - 175
pctBuscar.Location = New Point(tsPestanas.Width - 56, 140)
If Not txtBuscar.Visible Then
pctViajes.Location = New Point(pctBuscar.Location.X - 34, 140)
Else
pctViajes.Location = New Point(pctBuscar.Location.X - 218, 140)
End If
txtBuscar.Location = New Point(pctBuscar.Location.X - 182, 140)
lstAgregar.Height = tsPestanas.Height - 198
lstAgregar.Location = New Point(tsPestanas.Width - 206, 167)
btnAgregarTaxa.Location = New Point(tsPestanas.Width - 256,
lstAgregar.Height / 4 - 12 + 195)
btnQuitarTaxa.Location = New Point(tsPestanas.Width - 256, lstAgregar.Height /
4 * 3 - 12 + 195)
dgvMatriz.Height = tsPestanas.Height - 110
dgvMatriz.Width = tsPestanas.Width - 45
dgmTaxas.Height = tsPestanas.Height - 51
dgmTaxas.Width = tsPestanas.Width - 2
End Sub

Private Sub btnAgregar_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles btnAgregar.Click
    Agregar_Jerarquia()
End Sub

Private Sub Agregar_Jerarquia()
    txtJerarquia.Text = txtJerarquia.Text.Trim()
    If txtJerarquia.Text <> "" Then
        txtJerarquia.Text = UCase(txtJerarquia.Text.Substring(0, 1)) +
LCASE(txtJerarquia.Text.Substring(1))
        If numNivel.Value = 0 And twwJerarquia.Nodes.Count = 0 Then
            twwJerarquia.Nodes.Add(txtJerarquia.Text, (numNivel.Value + 1).ToString()
+ ".- " + txtJerarquia.Text)
        End If
    End If
End Sub

```

```

        Elself numNivel.Value = 0 Then
    MessageBox.Show("No se puede agregar un elemento al elenco pues ya existe otro
    en este nivel", "Error", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
        Exit Sub
    Else
        Dim n As TreeNode = twwJerarquia.Nodes(0)
        twwJerarquia.ExpandAll()
        Do While Not n.NextVisibleNode Is Nothing
            n = n.NextVisibleNode
        Loop
    n.Nodes.Add(txtJerarquia.Text, (numNivel.Value + 1).ToString() + ".- " +
    txtJerarquia.Text)
        End If
        numNivel.Value += 1
        cmbJerarquia.Items.Add(txtJerarquia.Text)
        txtJerarquia.Text = ""
        twwJerarquia.ExpandAll()
        txtJerarquia.Focus()
    Else
    MessageBox.Show("Debe escribir el nombre de la jerarquía para poder agregarla",
    "Error", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
        End If
    End Sub

    Private Sub txtJerarquia_KeyPress(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
    System.Windows.Forms.KeyPressEventArgs) Handles txtJerarquia.KeyPress
        If e.KeyChar() = vbCr Then
            Agregar_Jerarquia()
        End If
    End Sub

```

```

Private Sub numNivel_KeyPress(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.Windows.Forms.KeyPressEventArgs) Handles numNivel.KeyPress
    If e.KeyChar() = vbCr Then
        Agregar_Jerarquia()
    End If
End Sub

Private Sub tabTaxones_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles tabTaxones.Click, tabMatriz.Click, tabRed.Click,
tabElenco.Click
    Dim pestaña As TabItem = sender
    If Not pestaña Is tabElenco And twwJerarquia.Nodes.Count < 1 Then
        MessageBox.Show("Para poder continuar debe capturar el Elenco Sistemático",
"Error", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
        tsPestanas.SelectedTab = tabElenco
    ElseIf pestaña Is tabTaxones Then
        Cargar_Combos()
        UltimoNivel = numNivel.Value
    ElseIf Not (pestaña Is tabTaxones Or pestaña Is tabElenco) And
twwNodos.Nodes.Count < 1 Then
        MessageBox.Show("Para poder continuar debe capturar los taxones", "Error",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
        tsPestanas.SelectedTab = tabTaxones
    ElseIf pestaña Is tabMatriz Then
        GenerarMatriz()
    ElseIf pestaña Is tabRed Then
        If tscmbLigas.SelectedIndex = -1 Then
            tscmbLigas.SelectedIndex = 0
        End If
        DibujarGrafo()
    End If
End Sub

```

```

Private Sub GenerarMatriz()
    Dim y As Integer
    txtBuscar.Visible = False
    dgvMatriz.Columns.Clear()
    dgvMatriz.RowHeadersVisible = True
    dgvMatriz.Rows.Clear()
    Arbol = Nothing
    For Each n In twwNodos.Nodes
        Crear_Arbol_Taxas(n)
    Next
    Nodos = Arbol.Length
    For x = 0 To Nodos - 1
        dgvMatriz.Columns.Add(Arbol(x).Nodo, Arbol(x).Nodo)
        dgvMatriz.Rows.Add()
        dgvMatriz.Rows(x).HeaderCell.Value = Arbol(x).Nodo
    Next
    For x = 1 To Nodos - 1
        y = Buscar_Nodo_Arreglo(dgvMatriz.Rows(x).HeaderCell.Value)
        dgvMatriz.Item(Arbol(y).Padre, x).Value = 1
    Next
    If chkCeros.Checked = True Then
        For x = 0 To Nodos - 1
            For y = 0 To Nodos - 1
                If Convert.ToString(dgvMatriz.Item(x, y).Value) = "" Then
                    dgvMatriz.Item(x, y).Value = 0
                End If
            Next
        Next
    Next
Else
    For x = 0 To Nodos - 1
        For y = 0 To Nodos - 1
            If Convert.ToString(dgvMatriz.Item(x, y).Value) = "0" Then

```

```

                dgvMatriz.Item(x, y).Value = ""
            End If
        Next
    Next
End If
End Sub

Private Function Buscar_Nodo_Arreglo(ByVal Taxa As String)
    Dim Indice As Integer = 0
    Do
        If Arbol(Indice).Nodo = Taxa Then
            Exit Do
        End If
        Indice += 1
    Loop While Indice <= UBound(Arbol)
    If Indice <= UBound(Arbol) Then
        Return Indice
    Else
        Return -1
    End If
End Function

Private Sub btnAgregarNodo_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles btnAgregarNodo.Click
    Agregar_Nodo()
End Sub

Private Function Agregar_Nodo() As Boolean
    txtNodo.Text.Trim()
    txtNodo.Text = UCase(txtNodo.Text.Substring(0, 1)) +
LCASE(txtNodo.Text.Substring(1))
    If txtNodo.Text <> "" And cmbJerarquia.Text <> "" Then
        If (cmbPadreTaxa.Text <> "") Or (cmbPadreTaxa.Text = "" And
cmbJerarquia.Text = twwJerarquia.Nodes(0).Name) Then
            If twwNodos.Nodes.Count < 1 Then
                twwNodos.Nodes.Add(txtNodo.Text, txtNodo.Text + " (" + cmbJerarquia.Text + ")")
            End If
        End If
    End If
End Function

```

```

        cmbPadreTaxa.Items.Add(txtNodo.Text)
    Else
twvNodos.Nodes.Find(cmbPadreTaxa.Text, True)(0).Nodes.Add(txtNodo.Text,
txtNodo.Text + " (" + cmbJerarquia.Text + ")")
twvNodos.Nodes.Find(cmbPadreTaxa.Text, True)(0).Expand()
    If twvNodos.Nodes.Find(cmbPadreTaxa.Text, True)(0).Level < numNivel.Value - 2
Then
        cmbPadreTaxa.Items.Add(txtNodo.Text)
    End If
    End If
    Else
MsgBox("Debes especificar el padre de la taxa", MsgBoxStyle.Information, "Error")
    Return False
    End If
    End If
    txtNodo.Clear()
    txtNodo.Focus()
    Return True
    End Function
Private Sub txtNodo_KeyPress(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.Windows.Forms.KeyPressEventArgs) Handles txtNodo.KeyPress,
cmbPadreTaxa.KeyPress, cmbJerarquia.KeyPress
    If e.KeyChar() = vbCr Then
        Agregar_Nodo()
    End If
    End Sub
Private Sub btnEliminarNodo_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles btnEliminarNodo.Click
    Eliminar_Nodo()
    End Sub
Private Sub Eliminar_Nodo()

    For Each n As TreeNode In twvNodos.SelectedNode.Nodes

```



```

        Borrar_Padres(n)
    Next
    If cmbPadreTaxa.FindStringExact(tvwNodos.SelectedNode.Name) > -1 Then

cmbPadreTaxa.Items.RemoveAt(cmbPadreTaxa.FindStringExact(tvwNodos.Selected
Node.Name))
    End If
    twwNodos.SelectedNode.Remove()
End Sub
Private Sub Borrar_Padres(ByVal n As TreeNode)
    Dim nodo As TreeNode
    If cmbPadreTaxa.FindStringExact(n.Name) > -1 Then
        cmbPadreTaxa.Items.RemoveAt(cmbPadreTaxa.FindStringExact(n.Name))
    End If
    For Each nodo In n.Nodes
        Borrar_Padres(nodo)
    Next
End Sub
Private Sub EliminarToolStripMenuItem_Click(ByVal sender As System.Object,
ByVal e As System.EventArgs) Handles EliminarToolStripMenuItem.Click
    Eliminar_Nodo()
End Sub
Private Sub btnEliminar_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles btnEliminar.Click
    Eliminar_Jerarquia()
End Sub
Private Sub Eliminar_Jerarquia()
    numNivel.Value = twwJerarquia.SelectedNode.Level + 1
    twwJerarquia.SelectedNode.Remove()
End Sub
Private Sub EliminarToolStripMenuItem1_Click(ByVal sender As System.Object,
ByVal e As System.EventArgs) Handles EliminarToolStripMenuItem1.Click
    Eliminar_Jerarquia()

```

```

End Sub
Private Sub Cargar_Combos()
    cmbJerarquia.Items.Clear()
    Dim n As TreeNode
    For Each n In twwJerarquia.Nodes
        Cargar_Combos_Recursivo(n)
    Next
End Sub
Private Sub Cargar_Combos_Recursivo(ByVal n As TreeNode)
    cmbJerarquia.Items.Add(n.Name)
    Dim nodo As TreeNode
    For Each nodo In n.Nodes
        Cargar_Combos_Recursivo(nodo)
    Next
End Sub

Private Sub Crear_Matriz_Busqueda()
    Matriz_Busqueda = Nothing
    Dim n As TreeNode
    For Each n In twwNodos.Nodes
        Crear_Matriz_Busqueda_Recursiva(n)
    Next
End Sub

Private Sub Crear_Matriz_Busqueda_Recursiva(ByVal n As TreeNode)
    If Matriz_Busqueda Is Nothing Then
        ReDim Matriz_Busqueda(0)
    Else
        ReDim Preserve Matriz_Busqueda(Matriz_Busqueda.Length)
    End If
    Matriz_Busqueda(Matriz_Busqueda.Length - 1) = n.Name
    Dim nodo As TreeNode

```

```

    For Each nodo In n.Nodes
        Crear_Matriz_Busqueda_Recursiva(nodo)
    Next
End Sub

Private Sub txtBuscar_TextChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles txtBuscar.TextChanged
    If (Trim(txtBuscar.Text.Length > 0)) Then
        Dim cont As Integer
        Try
            For cont = 0 To Matriz_Busqueda.Length - 1
                If Matriz_Busqueda(cont).Length >= txtBuscar.Text.Length And
Matriz_Busqueda(cont).Substring(0, txtBuscar.Text.Length).ToUpper() =
txtBuscar.Text.ToUpper() Then
                    Exit For
                End If
            Next
            twwNodos.SelectedNode = twwNodos.Nodes.Find(Matriz_Busqueda(cont), True)(0)
        Catch
            twwNodos.SelectedNode = Nothing
        End Try
    Else
        twwNodos.SelectedNode = Nothing
    End If
End Sub

Private Sub btnCargarNodos_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles btnCargarNodos.Click
    lstAgrega.Items.Clear()
    lstAgrega.Visible = Not lstAgrega.Visible
    btnAgregaTaxa.Visible = Not btnAgregaTaxa.Visible
    btnQuitarTaxa.Visible = Not btnQuitarTaxa.Visible
    If lstAgrega.Visible = False Then
        twwNodos.Width = tsPestanas.Width - 58
    Else

```

```

        twwNodos.Width = twwNodos.Width - 233
        dlgCargarTaxas.ShowDialog()
    End If
End Sub

Private Sub GuardarToolStripMenuItem_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles GuardarToolStripMenuItem.Click
    If twwJerarquia.Nodes.Count > 0 And twwNodos.Nodes.Count > 0 Then
        dlgGuardarNodos.ShowDialog()
    Else
        MsgBox("No se han capturado datos aún.", MsgBoxStyle.Information, "Error")
    End If
End Sub

Private Sub GuardarEstructuraToolStripMenuItem_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles GuardarEstructuraToolStripMenuItem.Click
    If twwJerarquia.Nodes.Count > 0 Then
        dlgGuardarEstructura.ShowDialog()
    Else
        MsgBox("No hay nada que guardar", MsgBoxStyle.Information, "Error")
    End If
End Sub

Private Sub AbrirToolStripMenuItem_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles AbrirToolStripMenuItem.Click
    dlgAbrir.ShowDialog()
End Sub

Private Sub NuevoToolStripMenuItem_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles NuevoToolStripMenuItem.Click
    If MessageBox.Show("Está seguro que desea crear un nuevo archivo? Se perderán todos los datos no guardados.", "Nuevo...", MessageBoxButtons.YesNo, MessageBoxIcon.Question) = Windows.Forms.DialogResult.Yes Then
        LimpiarTodo()
        txtJerarquia.Focus()
    End If
End Sub

```

```

    End If
End Sub
Private Sub LimpiarTodo()
    tsPestanas.SelectedTab = tabElenco
    twwJerarquia.Nodes.Clear()
    twwNodos.Nodes.Clear()
    chkCeros.Checked = False
    dgvMatriz.Columns.Clear()
    dgvMatriz.Rows.Clear()
    txtBuscar.Clear()
    txtJerarquia.Clear()
    txtNodo.Clear()
    cmbJerarquia.Items.Clear()
    cmbPadreTaxa.Items.Clear()
    numNivel.Value = 0
    lstAgregar.Visible = False
    lstAgregar.Items.Clear()
    btnAgregaTaxa.Visible = False
    btnQuitarTaxa.Visible = False
    txtBuscar.Visible = False
    twwNodos.Width = tsPestanas.Width - 58
    Nodos = 0
    Arbol = Nothing
    DT = Nothing
    Jerarquias = 0
    UltimoNivel = 0
    Me.Text = "SICAMA"
End Sub
Private Sub dlgGuardarEstructura_FileOk(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.ComponentModel.CancelEventArgs) Handles
dlgGuardarEstructura.FileOk
    Try

```

```

    Dim Estructura As String = ""
    Dim Archivo As System.IO.FileStream
    Archivo = System.IO.File.Create(dlgGuardarEstructura.FileName)
    Archivo.Close()
    Dim n As TreeNode
    For Each n In tvwJerarquia.Nodes
        Crear_Estructura(n, Estructura)
    Next
My.Computer.FileSystem.WriteAllText(dlgGuardarEstructura.FileName, Estructura,
False)
    Catch ex As Exception
MsgBox("No se ha podido guardar el archivo, por favor intentelo de nuevo",
MsgBoxStyle.Information, "Error al Guardar")
    End Try
End Sub
Private Sub Crear_Estructura(ByVal n As TreeNode, ByRef est As String)
    est += n.Level.ToString() + "," + n.Name + vbCr
    Dim nodo As TreeNode
    For Each nodo In n.Nodes
        Crear_Estructura(nodo, est)
    Next
End Sub
Private Sub dlgAbrir_FileOk(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.ComponentModel.CancelEventArgs) Handles dlgAbrir.FileOk
If dlgAbrir.FileName.EndsWith("est") Or dlgAbrir.FileName.EndsWith("nod") Then
    LimpiarTodo()
    Using Lector As New
Microsoft.VisualBasic.FileIO.TextFieldParser(dlgAbrir.FileName)
        Lector.TextFieldType = FileIO.FieldType.Delimited
        Lector.SetDelimiters(",")
        Dim Fila As String()
        Dim indice As Integer = 0
        While Not Lector.EndOfData

```

Try

Fila = Lector.ReadFields()

Dim Campo As String

For Each Campo In Fila

If Campo = "fDj&FdJ" Then

Cargar\_Combos()

    indice = 2

Elseif indice = 0 Then

    numNivel.Value = Convert.ToInt32(Campo)

    indice = 1

Elseif indice = 1 Then

    txtJerarquia.Text = Campo

    indice = 0

Elseif indice = 2 Then

    If Campo.LastIndexOf("-") >= 0 Then

        Campo = Campo.Substring(Campo.LastIndexOf("-") + 2)

    End If

cmbJerarquia.SelectedIndex = cmbJerarquia.Items.IndexOf(Campo)

    indice = 3

Elseif indice = 3 Then

cmbPadreTaxa.Text = Campo

    indice = 4

Else

    txtNodo.Text = Campo

    indice = 2

End If

Next

If indice < 2 Then

    Agregar\_Jerarquia()

Else

    If txtNodo.Text <> "" Then

```

        Agregar_Nodo()
    End If
End If

Catch ex As Microsoft.VisualBasic.FileIO.MalformedLineException
MsgBox("La linea" & ex.Message & "no es válida y será omitida.",
MsgBoxStyle.Information, "Error en archivo")
    End Try
End While
If indice < 2 Then
    tsPestanas.SelectedTab = tabElenco
Else
    tsPestanas.SelectedTab = tabTaxones
End If
UltimoNivel = numNivel.Value
End Using
Me.Text = "SICAMA - " + dlgAbrir.SafeFileNames(0)
Else
    MsgBox("Formato de archivo incorrecto.", MsgBoxStyle.Information, "Error
en archivo")
End If
Catch ex As Exception
MsgBox("Error al tratar de abrir el archivo especificado.", MsgBoxStyle.Information,
"Error al abrir el archivo")
End Try
End Sub

Private Sub dlgGuardarNodos_FileOk(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.ComponentModel.CancelEventArgs) Handles dlgGuardarNodos.FileOk
    Try
        Dim Estructura As String = ""
        Dim Archivo As System.IO.FileStream
        Archivo = System.IO.File.Create(dlgGuardarNodos.FileName)
        Archivo.Close()
        Dim n As TreeNode

```



```

        For Each n In twwJerarquia.Nodes
            Crear_Estructura(n, Estructura)
        Next
        Estructura += "fDj&FdJ" + vbCr
My.Computer.FileSystem.WriteAllText(dlgGuardarNodos.FileName,      Estructura,
False)
        Estructura = ""
        n = Nothing
        Arbol = Nothing
        For Each n In twwNodos.Nodes
            Crear_Arbol_Taxas(n)
        Next
        Nodos = Arbol.Length
        For cont As Integer = 0 To Nodos - 1
If Estructura.Length > 1024 Then
My.Computer.FileSystem.WriteAllText(dlgGuardarNodos.FileName, Estructura, True)
        Estructura = ""
            End If
        Estructura += Arbol(cont).Jerarquía + "," + Arbol(cont).Padre + "," + Arbol(cont).Nodo
        + vbCr
            Next
My.Computer.FileSystem.WriteAllText(dlgGuardarNodos.FileName, Estructura, True)
        Catch ex As Exception
MsgBox("No se ha podido guardar el archivo, por favor intentelo de nuevo",
MsgBoxStyle.Information, "Error al Guardar")
            End Try
        End Sub

Private Sub twwNodos_AfterSelect(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.Windows.Forms.TreeViewEventArgs) Handles twwNodos.AfterSelect
        If twwNodos.SelectedNode.Level < UltimoNivel - 1 Then
            cmbPadreTaxa.SelectedIndex =
            cmbPadreTaxa.Items.IndexOf(twwNodos.SelectedNode.Name)
            cmbJerarquia.SelectedIndex = twwNodos.SelectedNode.Level + 1

```

```

Else
    cmbPadreTaxa.SelectedIndex =
cmbPadreTaxa.Items.IndexOf(tvwNodos.SelectedNode.Parent.Name)
    cmbJerarquia.SelectedIndex = UltimoNivel - 1
End If
End Sub

Private Sub dlgCargarTaxas_FileOk(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.ComponentModel.CancelEventArgs) Handles dlgCargarTaxas.FileOk
    Try
        txtBuscar.Visible = False
        If dlgCargarTaxas.FileName.EndsWith(".txt") Then
            lstAgregar.Items.Clear()
            Using Lector As New
Microsoft.VisualBasic.FileIO.TextFieldParser(dlgCargarTaxas.FileName)
                Lector.TextFieldType = FileIO.FieldType.Delimited
                Lector.SetDelimiters(",")
                Dim Fila As String()
                While Not Lector.EndOfData
                    Try
                        Fila = Lector.ReadFields()
                        Dim Campo As String
                        For Each Campo In Fila
                            lstAgregar.Items.Add(Campo.Substring(0, 1).ToUpper +
Campo.Substring(1).ToLower)
                        Next
                    Catch ex As Microsoft.VisualBasic.FileIO.MalformedLineException
                    End Try
                End While
            End Using
        Else
            MsgBox("Formato de archivo no identificado", MsgBoxStyle.Information, "Error en
archivo")
        End If
    End Try

```

```

        Catch ex As Exception
MsgBox("No se puede abrir el archivo especificado", MsgBoxStyle.Information, "Error
al abrir el archivo")
        End Try
    End Sub

Private Sub IstAgrega_DoubleClick(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles IstAgrega.DoubleClick
    Agregar_Taxa()
End Sub

Private Sub btnAgregaTaxa_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles btnAgregaTaxa.Click
    Agregar_Taxa()
End Sub

Private Sub Agregar_Taxa()
If (cmbPadreTaxa.SelectedIndex >= 0 And cmbJerarquia.SelectedIndex >= 0) Or
(cmbPadreTaxa.SelectedIndex = -1 And cmbJerarquia.SelectedIndex = 0) Then
    Dim Agregados(IstAgrega.SelectedItems.Count - 1) As Boolean
    Dim y As Integer = 0
    For contador As Integer = 0 To IstAgrega.SelectedItems.Count - 1
        txtNodo.Text = IstAgrega.SelectedItems.Item(contador).ToString()
        Agregados(contador) = Agregar_Nodo()
    Next
    y = IstAgrega.SelectedItems.Count - 1
    For contador As Integer = 0 To y
        If Agregados(contador) = True Then
            IstAgrega.Items.Remove(IstAgrega.SelectedItems.Item(0).ToString())
        Else
            IstAgrega.SetSelected(IstAgrega.SelectedIndex(0), False)
        End If
    Next
    txtNodo.Clear()
Else

```

```
MessageBox.Show("No se pueden agregar los nodos seleccionados. Especifique un padre y una jerarquía para el taxón.", "Error", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub btnQuitarTaxa_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles btnQuitarTaxa.Click
```

```
    If Not twwNodos.SelectedNode Is Nothing Then
```

```
        For Each n As TreeNode In twwNodos.SelectedNode.Nodes
```

```
            Quitar_Taxa(n)
```

```
        Next
```

```
        IstAgregar.Items.Add(twwNodos.SelectedNode.Name)
```

```
        twwNodos.SelectedNode.Remove()
```

```
    End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Quitar_Taxa(ByVal n As TreeNode)
```

```
    IstAgregar.Items.Add(n.Name)
```

```
    For Each nodo As TreeNode In n.Nodes
```

```
        Quitar_Taxa(nodo)
```

```
    Next
```

```
End Sub
```

```
Private Sub pctViajes_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles pctViajes.Click
```

```
    Arbol = Nothing
```

```
    For Each n In twwNodos.Nodes
```

```
        Crear_Arbol_Taxas(n)
```

```
    Next
```

```
    Nodos = Arbol.Length
```

```
    frmViajes.ShowDialog(Me)
```

```
End Sub
```

```
Private Sub btnXLS_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles btnXLS.Click
```

```

    dlgGuardarXLS.ShowDialog()
End Sub
Private Sub dlgGuardarXLS_FileOk(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.ComponentModel.CancelEventArgs) Handles dlgGuardarXLS.FileOk
    Try
        Dim m_Excel As New Excel.Application
        m_Excel.Visible = False
        Dim objLibroExcel As Excel.Workbook = m_Excel.Workbooks.Add
        Dim objHojaExcel As Excel.Worksheet = objLibroExcel.Worksheets(1)
        With objHojaExcel
            .Visible = Excel.XISheetVisibility.xISheetVisible
            .Activate()
            .Range("A2:M2").Merge()
            .Range("A2:M2").Value = "MATRIZ BINARIA"
            .Range("A2:M2").Font.Bold = True
            .Range("A2:M2").Font.Size = 15

            .Range("A3:M3").Merge()
            .Range("A3:M3").Value = "SICAMA 2.0"
            .Range("A3:M3").Font.Bold = True
            .Range("A3:M3").Font.Size = 12

            Const primeraLetra As Char = "A"
            Const primerNumero As Short = 4
            Dim Letra As Char, UltimaLetra As Char
            Dim Numero As Integer, UltimoNumero As Integer
            Dim cod_letra As Byte = Asc(primeraLetra) - 1
            Dim sepDec As String =
Application.CurrentCulture.NumberFormat.NumberDecimalSeparator
            Dim sepMil As String =
Application.CurrentCulture.NumberFormat.NumberGroupSeparator
            Dim strColumna As String = ""

```

```

Dim Letralzq As String = ""
Dim cod_Letralzq As Byte = Asc(primeraletra) - 1
Dim Fila As Integer = 5
cod_letra += 1
Letra = Chr(cod_letra)
Numero = primerNumero
Dim objCelda As Excel.Range
For Each c As DataGridViewColumn In dgvMatriz.Columns
    If c.Visible Then
        If Letra = "Z" Then
            Letra = primeraletra
            cod_letra = Asc(primeraletra)
            cod_Letralzq += 1
            Letralzq = Chr(cod_Letralzq)
        Else
            cod_letra += 1
            Letra = Chr(cod_letra)
        End If
        strColumna = Letralzq + Letra + Numero.ToString
        objCelda = .Range(strColumna, Type.Missing)
        objCelda.Value = c.HeaderText
        objCelda.Font.Size = 10
        objCelda.Font.Bold = True
        objCelda.VerticalAlignment = Excel.XIVAlign.xIVAlignCenter
        objCelda.HorizontalAlignment = Excel.XIHAlign.xIHAlignCenter
        objCelda.BorderAround(1, Excel.XIBorderWeight.xIMedium)
        strColumna = primeraletra + Fila.ToString
        objCelda = .Range(strColumna, Type.Missing)
        objCelda.Value = c.HeaderText
        objCelda.Font.Size = 10
        objCelda.Font.Bold = True
        objCelda.VerticalAlignment = Excel.XIVAlign.xIVAlignCenter

```

```

        objCelda.HorizontalAlignment = Excel.XIAlign.xIAlignCenter
        objCelda.BorderAround(1, Excel.XIBorderWeight.xIMedium)
        Fila += 1
    End If
Next
UltimaLetra = Letra
Dim UltimaLetralzq As String = Letralzq
Dim i As Integer = Numero + 1
For Each reg As DataGridViewRow In dgvMatriz.Rows
    Letralzq = ""
    cod_Letralzq = Asc(primeraletra) - 1
    cod_letra = Asc(primeraletra)
    Letra = Chr(cod_letra)
    For Each c As DataGridViewColumn In dgvMatriz.Columns
        If c.Visible Then
            If Letra = "Z" Then
                Letra = primeraletra
                cod_letra = Asc(primeraletra)
                cod_Letralzq += 1
                Letralzq = Chr(cod_Letralzq)
            Else
                cod_letra += 1
                Letra = Chr(cod_letra)
            End If
            strColumna = Letralzq + Letra
            .Cells(i, strColumna) = If(IsDBNull(reg.ToString), "", reg.Cells(c.Index).Value)
        End If
    Next
    Dim objRangoReg As Excel.Range = .Range(primeraletra + i.ToString, strColumna +
    i.ToString)
    objRangoReg.Rows.BorderAround()
    objRangoReg.Select()

```

```

objRangoReg.VerticalAlignment = Excel.XIVAlign.xIVAlignCenter
objRangoReg.HorizontalAlignment = Excel.XIHAlign.xIHAlignCenter
i += 1
Next
UltimoNumero = i
Letralzq = ""
cod_Letralzq = Asc("A")
cod_letra = Asc(primeraletra)
Letra = primeraletra
For Each c As DataGridViewColumn In dgvMatriz.Columns
    If c.Visible Then
        objCelda = .Range(Letralzq + Letra + primerNumero.ToString,
Letralzq + Letra + (UltimoNumero - 1).ToString)
        objCelda.BorderAround()
        If Letra = "Z" Then
            Letra = primeraletra
            cod_letra = Asc(primeraletra)
            Letralzq = Chr(cod_Letralzq)
            cod_Letralzq += 1
        Else
            cod_letra += 1
            Letra = Chr(cod_letra)
        End If
    End If
Next
Dim objRango As Excel.Range = .Range(primeraletra +
primerNumero.ToString, UltimaLetralzq + UltimaLetra + (UltimoNumero - 1).ToString)
objRango.Select()
objRango.Columns.AutoFit()
objRango.Columns.BorderAround(1, Excel.XIBorderWeight.xIMedium)
objRango = .Range(primeraletra + Numero.ToString, Letralzq + Letra +
Numero.ToString)
objRango.BorderAround(1, Excel.XIBorderWeight.xIMedium)

```



```

objRango.Borders(Excel.XIBordersIndex.xlInsideVertical).Weight           =
Excel.XIBorderWeight.xlMedium
objRango = .Range(primerLetra + primerNumero.ToString, primeraLetra +
(UltimoNumero - 1).ToString)
objRango.BorderAround(1, Excel.XIBorderWeight.xlMedium)
objRango.Borders(Excel.XIBordersIndex.xlInsideHorizontal).Weight       =
Excel.XIBorderWeight.xlMedium
    End With
    m_Excel.Cursor = Excel.XIMousePointer.xlDefault
    m_Excel.DisplayAlerts = False
    m_Excel.ActiveWorkbook.SaveAs(dlgGuardarXLS.FileName, , , , , ,
Excel.XISaveConflictResolution.xlLocalSessionChanges)
    m_Excel.Quit()
    objHojaExcel = Nothing
    objLibroExcel = Nothing
    m_Excel = Nothing

Catch ex As Exception
    MsgBox(ex.Message.ToString, MsgBoxStyle.Information, "Error al guardar")
End Try
End Sub

Private Sub chkCeros_CheckedChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles chkCeros.CheckedChanged
    Dim y As Integer = 0
    If chkCeros.Checked = True Then
        For x = 0 To Nodos - 1
            For y = 0 To Nodos - 1
                If Convert.ToString(dgvMatriz.Item(x, y).Value) = "" Then
                    dgvMatriz.Item(x, y).Value = 0
                End If
            Next
        Next
    Next
End Sub

```

```

Else
    For x = 0 To Nodos - 1
        For y = 0 To Nodos - 1
            If Convert.ToString(dgvMatriz.Item(x, y).Value) = "0" Then
                dgvMatriz.Item(x, y).Value = ""
            End If
        Next
    Next
End If
End Sub

Private Sub btnIndice_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles btnIndice.Click
    CrearMatrices()
    frmIndice.ShowDialog(Me)
End Sub

Private Sub CrearMatrices()
    Dim x As Integer
    Dim y As Integer
    ReDim MatrizBinaria(Nodos - 1, Nodos - 1)
    ReDim MatrizPonderada(Nodos - 1, Nodos - 1)
    For x = 0 To Nodos - 1
        For y = 0 To Nodos - 1
            if Convert.ToString(dgvMatriz.Item(x, y).Value) = "0" Or
Convert.ToString(dgvMatriz.Item(x, y).Value) = "" Then
                MatrizPonderada(x, y) = 0
                MatrizBinaria(x, y) = 0
            Else
                MatrizPonderada(x, y) = dgvMatriz.Item(x, y).Value
                MatrizBinaria(x, y) = 1
            End If
        Next
    Next
Next

```

```

End Sub

Private Sub btnCSV_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles btnCSV.Click
    End Sub

Private Sub AcercadeToolStripMenuItem_Click(ByVal sender As System.Object,
ByVal e As System.EventArgs) Handles AcercadeToolStripMenuItem.Click
    frmAcercaDe.ShowDialog(Me)
End Sub

Private Sub GenerarNodosNivelInterno(ByVal n As TreeNode, ByRef num As Integer,
Optional ByVal NodoPadre As Node = Nothing)
    Dim Tamano As Integer
    If tstxtIncremento.Text.Trim() = "" And DT Is Nothing Then
        tstxtIncremento.Text = "0"
        Tamano = Convert.ToInt32(tstxtTamanoMinimo.Text()) +
(cmbJerarquia.Items.Count - 1 - n.Level) * Convert.ToInt32(tstxtIncremento.Text)
    ElseIf tstxtIncremento.Text.Trim() = "" And Not DT Is Nothing Then
        Tamano = Convert.ToInt32(tstxtTamanoMinimo.Text()) + DT(num) * 800
    Else
        Tamano = Convert.ToInt32(tstxtTamanoMinimo.Text()) +
(cmbJerarquia.Items.Count - 1 - n.Level) * Convert.ToInt32(tstxtIncremento.Text)
    End If
    Dim taxa As Ellipse = New Ellipse(0, 0, Tamano, Tamano)
    Dim szSize As SizeF = New SizeF(Tamano, Tamano)
    taxa.FillStyle.Color = Colores(n.Level)
    taxa.EnableShading = True
    If tsbtnEtiquetas.Text = "Ocultar etiquetas" Then
        Dim lblNombre As Syncfusion.Windows.Forms.Diagram.Label = New
Syncfusion.Windows.Forms.Diagram.Label(taxa, n.Name)
        lblNombre.OffsetX = szSize.Width / 2
        lblNombre.OffsetY = szSize.Height / 2 - 1
        lblNombre.FontStyle.Family = "Tahoma"
        lblNombre.FontStyle.Size = 7
        lblNombre.FontStyle.Style = System.Drawing.FontStyle.Regular
        lblNombre.ReadOnly = True
    End If
End Sub

```

```

        Dim lblJerarquia As Syncfusion.Windows.Forms.Diagram.Label = New
Syncfusion.Windows.Forms.Diagram.Label(taxa,
cmbJerarquia.Items(n.Level).ToString())
        lblJerarquia.OffsetX = szSize.Width / 2
        lblJerarquia.OffsetY = szSize.Height / 2 + 7
        lblJerarquia.FontStyle.Family = "Tahoma"
        lblJerarquia.FontStyle.Size = 6
        lblJerarquia.FontStyle.Style = System.Drawing.FontStyle.Italic
        lblJerarquia.ReadOnly = True
        taxa.Name = num.ToString()
        taxa.Labels.Add(lblNombre)
        taxa.Labels.Add(lblJerarquia)
        num += 1
    End If
    Me.dgmTaxas.Model.AppendChild(taxa)
    If Not NodoPadre Is Nothing Then
        ConectarNodos(NodoPadre, taxa, Color.Black)
    End If
        Dim nodo As TreeNode
    For Each nodo In n.Nodes
        GenerarNodosNivelInterno(nodo, num, taxa)
    Next
End Sub

Private Sub ConectarNodos(ByVal parentNode As Node, ByVal childNode As Node,
ByVal connectionColor As Color)
    If Not parentNode Is Nothing AndAlso Not childNode Is Nothing Then
        Dim IConector As LineConnector = New LineConnector(PointF.Empty, New PointF(0,
1))
        If tscmbLigas.SelectedIndex = 0 Then
            IConector.HeadDecorator.DecoratorShape =
DecoratorShape.Filled45Arrow
            IConector.HeadDecorator.Size = New SizeF(10, 5)
            IConector.HeadDecorator.FillStyle.Color = connectionColor

```

```

        IConector.HeadDecorator.LineStyle.LineColor = connectionColor
    End If
    IConector.LineStyle.LineColor = connectionColor
    parentNode.CentralPort.TryConnect(IConector.TailEndPoint)
    childNode.CentralPort.TryConnect(IConector.HeadEndPoint)
    Me.dgmTaxas.Model.AppendChild(IConector)
    Me.dgmTaxas.Model.SendToBack(IConector)
End If
End Sub

Private Sub tscmbZoom_SelectedIndexChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles tscmbZoom.SelectedIndexChanged
    Select Case (tscmbZoom.SelectedIndex)
        Case 0 : Me.dgmTaxas.View.Magnification = 500
        Case 1 : Me.dgmTaxas.View.Magnification = 900
        Case 2 : Me.dgmTaxas.View.Magnification = 15
        Case 3 : Me.dgmTaxas.View.Magnification = 10
        Case 4 : Me.dgmTaxas.View.Magnification = 25
    End Select
End Sub

Private Sub btnEtiquetas_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles tsbtnEtiquetas.Click
    If tsbtnEtiquetas.Text = "Mostrar etiquetas" Then
        tsbtnEtiquetas.Text = "Ocultar etiquetas"
    Else
        tsbtnEtiquetas.Text = "Mostrar etiquetas"
    End If
    DibujarGrafo()
End Sub

Private Sub dgmTaxas_MouseMove(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.Windows.Forms.MouseEventHandler) Handles dgmTaxas.MouseMove
    Dim nodoActivo As Node =
    CType(Me.dgmTaxas.Controller.GetNodeUnderMouse(New Point(e.X, e.Y)), Node)

```

```

If (Not nodoActivo Is nodoViejo) Or (nodoViejo Is Nothing) Then
If (Not nodoActivo Is Nothing) AndAlso (Not nodoActivo.Name.StartsWith("Line")
AndAlso (Not nodoActivo.Name.StartsWith("Ellipse"))) Then
    Dim i As Integer = Convert.ToInt32(nodoActivo.Name)
    Dim textoToolTip As String = ""
    textoToolTip += "Jerarquía: " + Arbol(i).Jerarquía + vbCrLf
    If Not DT Is Nothing Then
        textoToolTip += "_____ " + vbCrLf
        textoToolTip += "Degree: " + Degree(i).ToString() + vbCrLf
        textoToolTip += "DT: " + DT(i).ToString() + vbCrLf
    End If

    ttDatosTaxa.IsBalloon = True
    ttDatosTaxa.ToolTipTitle = Arbol(i).Nodo
    ttDatosTaxa.AutomaticDelay = 10000
    ttDatosTaxa.InitialDelay = 10
    ttDatosTaxa.SetToolTip(dgmTaxas, textoToolTip)
    ttDatosTaxa.Active = True
    nodoViejo = nodoActivo

```

End Sub

```

Private Sub dlgBaseTaxonomica_FileOk(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.ComponentModel.CancelEventArgs) Handles dlgBaseTaxonomica.FileOk

```

Try

```

    Dim m_Excel As New Excel.Application
    m_Excel.Visible = False
    Dim objLibroExcel As Excel.Workbook = m_Excel.Workbooks.Add
    Dim objHojaExcel As Excel.Worksheet = objLibroExcel.Worksheets(1)
    With objHojaExcel
        .Visible = Excel.XISheetVisibility.xISheetVisible
        .Activate()
        .Range("A2:M2").Merge()
        .Range("A2:M2").Value = "BASE TAXONÓMICA"
        .Range("A2:M2").Font.Bold = True
    End With

```

```

.Range("A2:M2").Font.Size = 15
.Range("A3:M3").Merge()
.Range("A3:M3").Value = "SICAMA 2.0"
.Range("A3:M3").Font.Bold = True
.Range("A3:M3").Font.Size = 12
Const primeraLetra As Char = "A"
Const primerNumero As Short = 4
Dim Letra As Char, UltimaLetra As Char
Dim Numero As Integer, UltimoNumero As Integer
Dim cod_letra As Byte = Asc(primerLetra)
Dim sepDec As String =
Application.CurrentCulture.NumberFormat.NumberDecimalSeparator
Dim sepMil As String =
Application.CurrentCulture.NumberFormat.NumberGroupSeparator
Dim strColumna As String = ""
Dim Letralzq As String = ""
Dim cod_Letralzq As Byte = Asc(primerLetra) - 1
Letra = Chr(cod_letra)
Numero = primerNumero
Dim objCelda As Excel.Range
objCelda = .Range("A4", Type.Missing)
objCelda.Value = "No."
objCelda.Font.Bold = True
objCelda.VerticalAlignment = Excel.XIVAlign.xIVAlignCenter
objCelda.HorizontalAlignment = Excel.XIHAlign.xIHAlignCenter
objCelda.BorderAround(1, Excel.XIBorderWeight.xIMedium)
For Each c As Object In cmbJerarquia.Items
    If Letra = "Z" Then
        Letra = primeraLetra
        cod_letra = Asc(primerLetra)
        cod_Letralzq += 1
        Letralzq = Chr(cod_Letralzq)
    End If
End For

```

```

Else
    cod_letra += 1
    Letra = Chr(cod_letra)
End If
strColumna = Letralzq + Letra + Numero.ToString
objCelda = .Range(strColumna, Type.Missing)
objCelda.Value = c
objCelda.Font.Size = 10
objCelda.Font.Bold = True
objCelda.VerticalAlignment = Excel.XIVAlign.xIVAlignCenter
objCelda.HorizontalAlignment = Excel.XIHAAlign.xIHAAlignCenter
objCelda.BorderAround(1, Excel.XIBorderWeight.xIMedium)
Next
UltimaLetra = Letra
Dim UltimaLetralzq As String = Letralzq
Dim MatrizBT(,) As String
For Each n In twwNodos.Nodes
    Crear_Matriz_Texas(n)
Next
Dim i As Integer = Numero + 1
Dim objRango As Excel.Range = .Range(primerLetra + primerNumero.ToString,
UltimaLetralzq + UltimaLetra + (UltimoNumero - 1).ToString)
objRango.Select()
objRango.Columns.AutoFit()
objRango.Columns.BorderAround(1, Excel.XIBorderWeight.xIMedium)
If Letralzq <> "" And cod_letra = 65 Then
    cod_Letralzq -= 2
    Letralzq = Chr(cod_Letralzq)
    cod_letra = 90
Else
    cod_letra -= 1
End If

```



```

        Letra = Chr(cod_letra)
        objRango = .Range(primeraletra + Numero.ToString, Letralzq + Letra +
Numero.ToString)
        objRango.BorderAround(1, Excel.XIBorderWeight.xlMedium)
        objRango.Borders(Excel.XIBordersIndex.xlInsideVertical).Weight =
Excel.XIBorderWeight.xlMedium
    End With
    m_Excel.Cursor = Excel.XIMousePointer.xlDefault
    m_Excel.DisplayAlerts = False
    m_Excel.ActiveWorkbook.SaveAs(dlgBaseTaxonomica.FileName, , , , , ,
Excel.XISaveConflictResolution.xlLocalSessionChanges)
    m_Excel.Quit()
    objHojaExcel = Nothing
    objLibroExcel = Nothing
    m_Excel = Nothing
Catch ex As Exception
MsgBox(ex.Message.ToString, MsgBoxStyle.Information, "Error al guardar")
End Try
End Sub
Private Sub Crear_Matriz_Taxas(ByVal n As TreeNode)
    If Arbol Is Nothing Then
        ReDim Arbol(0)
    Else
        ReDim Preserve Arbol(Arbol.Length)
    End If
    Arbol(Arbol.Length - 1).Nodo = n.Name
    If n.Parent Is Nothing Then
        Arbol(Arbol.Length - 1).Padre = "-1"
    Else
        Arbol(Arbol.Length - 1).Padre = n.Parent.Name
    End If
    Arbol(Arbol.Length - 1).Jerarquía = cmbJerarquía.Items(n.Level)
    Dim nodo As TreeNode

```

```
For Each nodo In n.Nodes
    Crear_Arbol_Taxas(nodo)
Next
End Sub
End Class
```

## 2. Captura de un árbol taxonómico y determinación de Diferenciación topológica ( $D_{TN}$ ).

Como ejemplo se considera el caso de estudio (a) de Warwick y Clarke (2001) del anexo 8. El proceso tiene tres etapas:

- a. *Definición de los niveles de jerarquía taxonómica.* Escribir el nombre en el campo correspondiente a la jerarquía; por ejemplo, Orden (O), Familia (F), Género (G) y Especie (E); dar clic en el botón “Agregar Jerarquía”. Después de agregar la última categoría taxonómica, grabar el archivo con la opción Guardar Estructura. El programa asigna al archivo la extensión \*.est. Este archivo puede ser utilizado cuando se requiera procesar cualquier árbol taxonómico que tenga las mismas jerarquías en su topología.
- b. *Captura del elenco sistemático.* Activar el botón “Taxones”, e introducir los taxones del elenco; este proceso puede ser manual, al teclear el nombre del taxón en el campo correspondiente o agregar los taxones, después de importar el archivo en formato \*.txt, que contiene la lista sistemática ordenada en una columna. Para importar el archivo, es necesario activar el botón “Cargar taxones desde archivo”, buscar el archivo. Previa selección de la jerarquía máxima, disponible en el botón “Jerarquía”, seleccionar los taxones uno por uno, en el orden que aparecen en el área de trabajo, ubicada a la derecha del área asignada para las “Jerarquías definidas” y presionar el botón con el símbolo <<, para añadir el taxón seleccionado.
- c. *Obtención del índice  $D_{TN}$ .* Activar el botón “Matriz” y presionar el botón “Calcular índices” y aparecerá el valor de  $D_{TN}$  del árbol taxonómico.

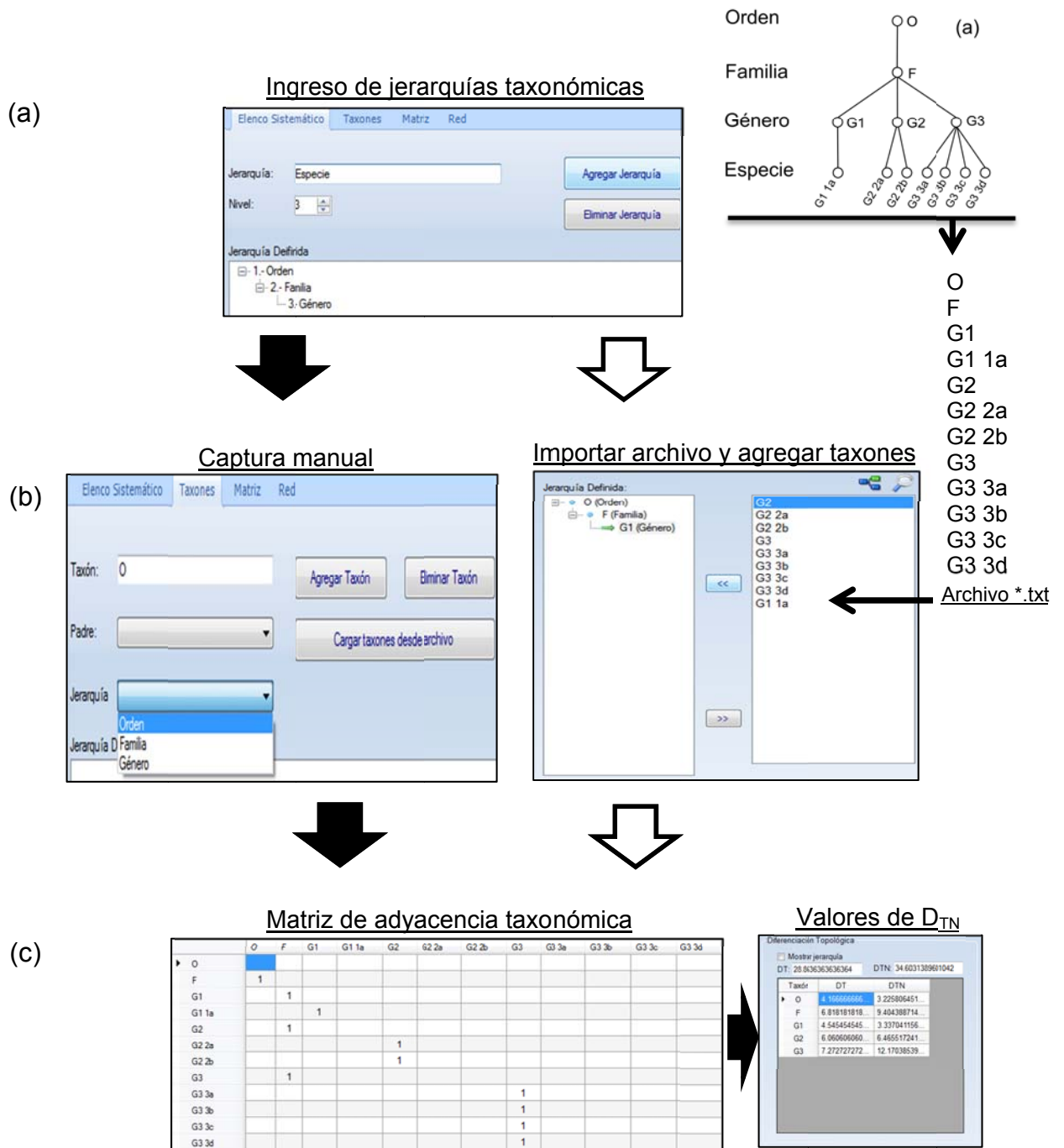


Figura 23. Secuencia de imágenes para la captura y análisis topológico de un árbol taxonómico.

### Anexo 3. Programa para determinar Índices estructurales del análisis de redes tróficas (IEART).

#### 1. Código fuente del programa IEART 1.0

```
Public Class frmPrincipal
```

```
Private Sub btnAgregarNodo_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles btnAgregarNodo.Click
```

```
    If txtNodo.Text <> "" Then
```

```
        Formatear_Nombre_Nodo()
```

```
        Dim y As Integer
```

```
        dgvMatrizEntrada.Columns.Add(txtNodo.Text, txtNodo.Text)
```

```
        dgvMatrizEntrada.Rows.Add()
```

```
        dgvMatrizEntrada.Rows(Nodos).HeaderCell.Value = txtNodo.Text
```

```
        For y = 0 To Nodos
```

```
            dgvMatrizEntrada.Item(Nodos, y).Value = "0"
```

```
            dgvMatrizEntrada.Item(y, Nodos).Value = "0"
```

```
        Next
```

```
        Nodos += 1
```

```
        txtNodo.Clear()
```

```
    End If
```

```
    txtNodo.Focus()
```

```
End Sub
```

```
Private Sub frmPrincipal_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles MyBase.Load
```

```
    dgvMatrizEntrada.Columns.Clear()
```

```
    dgvMatrizEntrada.RowHeadersVisible = True
```

```
    dgvMatrizEntrada.Rows.Clear()
```

```
    dgvMatrizEntrada.RowHeadersDefaultCellStyle.Alignment=DataGridViewContentAlignment.MiddleCenter
```

```
    dgvMatrizEntrada.ColumnHeaderDefaultCellStyle.Alignment =  
DataGridViewContentAlignment.MiddleCenter
```

```
End Sub
```

```
Private Sub frmPrincipal_Resize(ByVal sender As System.Object, ByVal e As  
System.EventArgs) Handles MyBase.Resize
```

```
    dgvMatrizEntrada.Height = Me.Height - 162
```

```
    dgvMatrizEntrada.Width = Me.Width - 38
```

```
End Sub
```

```
Private Sub btnDegree_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As  
System.EventArgs)
```

```
    If Nodos > 0 Then
```

```
        CrearMatrices()
```

```
        frmDegree.Show()
```

```
        Me.Hide()
```

```
    End If
```

```
    txtNodo.Focus()
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Formatear_Nombre_Nodo()
```

```
    txtNodo.Text = txtNodo.Text.Substring(0, 1).ToUpper() +  
txtNodo.Text.Substring(1).ToLower()
```

```
End Sub
```

```
Private Sub btnEliminarNodo_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As  
System.EventArgs) Handles btnEliminarNodo.Click
```

```
    If txtNodo.Text <> "" Then
```

```
        Formatear_Nombre_Nodo()
```

```
        Dim y As Integer
```

```
        y
```

```
dgvMatrizEntrada.Columns.IndexOf(dgvMatrizEntrada.Columns(txtNodo.Text))
```

```
        If y > -1 Then
```

```
            dgvMatrizEntrada.Rows.RemoveAt(y)
```

```
            dgvMatrizEntrada.Columns.RemoveAt(y)
```

```

        Nodos -= 1
    End If
    txtNodo.Clear()
End If
txtNodo.Focus()
End Sub

```

```

Private Sub btnEspecieClave_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)

```

```

    If Nodos > 0 Then
        CrearMatrices()
        Me.Hide()
    End If
    txtNodo.Focus()

```

```

End Sub

```

```

Private Sub CrearMatrices()

```

```

    Dim x As Integer
    Dim y As Integer
    ReDim MatrizBinaria(Nodos - 1, Nodos - 1)
    ReDim MatrizPonderada(Nodos - 1, Nodos - 1)
    For x = 0 To Nodos - 1
        For y = 0 To Nodos - 1
            If Convert.ToString(dgvMatrizEntrada.Item(x, y).Value) = "0" Or
               Convert.ToString(dgvMatrizEntrada.Item(x, y).Value) = "" Then
                MatrizPonderada(x, y) = 0
                MatrizBinaria(x, y) = 0
            Else
                MatrizPonderada(x, y) = dgvMatrizEntrada.Item(x, y).Value
                MatrizBinaria(x, y) = 1
            End If
        Next
    Next
Next

```

End Sub

Private Sub SalirToolStripMenuItem\_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles SalirToolStripMenuItem.Click

End

End Sub

Private Sub dlgAbrir\_FileOk(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.ComponentModel.CancelEventArgs) Handles dlgAbrir.FileOk

Try

    If Not cabecera Then

        If encabezados Then

        dgvMatrizEntrada.Columns.Add(Campo, Campo)

        dgvMatrizEntrada.Rows.Add()

        dgvMatrizEntrada.Rows(Nodos).HeaderCell.Value = Campo

            For y = 0 To Nodos

        dgvMatrizEntrada.Item(Nodos, y).Value = "0"

        dgvMatrizEntrada.Item(y, Nodos).Value = "0"

        Next

        Nodos += 1

    Else

    dgvMatrizEntrada.Item(b, a).Value = Campo

        End If

        b += 1

    End If

    cabecera = False

Next

encabezados = False

a += 1

b = 0

Catch ex As Microsoft.VisualBasic.FileIO.MalformedLineException

MsgBox("La línea" & ex.Message & "no es válida y será omitida.",  
MsgBoxStyle.Information, "Error en archivo")

End Try

```

        End While
    End Using
Else
    MsgBox("Formato de archivo no identificado", MsgBoxStyle.Information,
"Error en archivo")
    End If
    Catch ex As Exception
MsgBox("No se puede abrir el archivo especificado", MsgBoxStyle.Information, "Error
al abrir el archivo")
    End Try
End Sub

```

```

Private Sub AbrirToolStripMenuItem1_Click(ByVal sender As System.Object,
ByVal e As System.EventArgs) Handles AbrirToolStripMenuItem1.Click
    dlgAbrir.ShowDialog()
End Sub

```

```

Private Sub GuardarToolStripMenuItem_Click(ByVal sender As System.Object,
ByVal e As System.EventArgs) Handles GuardarToolStripMenuItem.Click
    dlgGuardar.ShowDialog()
End Sub

```

```

Private Sub dlgGuardar_FileOk(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.ComponentModel.CancelEventArgs) Handles dlgGuardar.FileOk

```

```

Try
    Dim Matriz As String = ""
    Dim Archivo As System.IO.FileStream
    Dim encabezados As Boolean = True
    Dim cabecera As Boolean = True
    Archivo = System.IO.File.Create(dlgGuardar.FileName)
    Archivo.Close()
    Dim x, y As Integer
    For x = -1 To dgvMatrizEntrada.Columns.Count - 1
        For y = -1 To dgvMatrizEntrada.Columns.Count - 1

```



```

        If Not cabecera Then
            If encabezados Then
                Matriz += "," + dgvMatrizEntrada.Columns(y).HeaderText
            Else
                Matriz += "," + dgvMatrizEntrada.Item(y, x).Value.ToString
            End If
        Else
            If Not encabezados Then
                Matriz += vbCrLf + dgvMatrizEntrada.Rows(x).HeaderCell.Value
            End If
        End If
        cabecera = False
    Next
    cabecera = True
    encabezados = False
Next
    My.Computer.FileSystem.WriteAllText(dlgGuardar.FileName, Matriz, False)
Catch ex As Exception
    MsgBox("No se ha podido guardar el archivo, por favor intentelo de nuevo",
    MsgBoxStyle.Information, "Error al Guardar")
End Try
End Sub

Private Sub AcercaDeToolStripMenuItem_Click(ByVal sender As System.Object,
ByVal e As System.EventArgs) Handles AcercaDeToolStripMenuItem.Click
    frmAcercaDe.ShowDialog()
End Sub

Private Sub btnImportancia_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)
End Sub

Private Sub btnRed_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)
End Sub

```

```
Private Sub btnExcel_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)
```

```
    If Nodos > 0 Then
```

```
        CrearMatrices()
```

```
        frmDepredadorPresa.Show()
```

```
        Me.Hide()
```

```
    End If
```

```
    txtNodo.Focus()
```

```
End Sub
```

```
Private Sub DegreeToolStripMenuItem_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles DegreeToolStripMenuItem.Click
```

```
    If Nodos > 0 Then
```

```
        CrearMatrices()
```

```
        frmDegree.Show()
```

```
        Me.Hide()
```

```
    End If
```

```
    txtNodo.Focus()
```

```
End Sub
```

```
Private Sub ImportanciaTopologicaTIToolStripMenuItem_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles ImportanciaTopologicaTIToolStripMenuItem.Click
```

```
    If Nodos > 0 Then
```

```
        CrearMatrices()
```

```
        frmImportanciaTopologica.Show()
```

```
        Me.Hide()
```

```
    End If
```

```
    txtNodo.Focus()
```

```
End Sub
```

```
Private Sub EspecieClavekToolStripMenuItem_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles EspecieClavekToolStripMenuItem.Click
```

```
    If Nodos > 0 Then
```

```
        CrearMatrices()
```

```

        Me.Hide()
    End If
    txtNodo.Focus()
End Sub

Private Sub SinNombreToolStripMenuItem_Click(ByVal sender As System.Object,
ByVal e As System.EventArgs) Handles SinNombreToolStripMenuItem.Click
    If Nodos > 0 Then
        CrearMatrices()
        frmDepredadorPresas.Show()
        Me.Hide()
    End If
    txtNodo.Focus()
End Sub

Private Sub AnálisisDeFlujosToolStripMenuItem_Click(ByVal sender As
System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
AnálisisDeFlujosToolStripMenuItem.Click

End Sub

Private Sub DTNToolStripMenuItem_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal
e As System.EventArgs) Handles DTNToolStripMenuItem.Click
End Sub

Private Sub CálculosToolStripMenuItem_Click(ByVal sender As System.Object,
ByVal e As System.EventArgs) Handles CálculosToolStripMenuItem.Click

End Sub

End Class

Public Class frmEspecieClave
    Dim Salir As Boolean = True
    Dim Parciales As Boolean = True

    Private Sub frmEspecieClave_FormClosing(ByVal sender As Object, ByVal e As
System.Windows.Forms.FormClosingEventArgs) Handles Me.FormClosing
        If Salir Then

```

```

        End If
    End Sub

    Private Sub frmEspecieClave_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles MyBase.Load
        dgvMatrizEspecieClave.Columns.Clear()
        dgvMatrizEspecieClave.RowHeadersVisible = True
        dgvMatrizEspecieClave.Rows.Clear()
        dgvMatrizEspecieClave.RowHeadersDefaultCellStyle.Alignment =
DataGridViewContentAlignment.MiddleCenter
        dgvMatrizEspecieClave.ColumnHeadersDefaultCellStyle.Alignment =
DataGridViewContentAlignment.MiddleCenter
    End Sub

    Private Sub btnVolver_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles btnVolver.Click
        Salir = False
        Me.Close()
        frmPrincipal.Show()
    End Sub

    Private Sub Calcular_Especie_Clave()
        Dim matriz(Nodos - 1, Nodos - 1) As Integer
        Dim kb(Nodos - 1) As Double
        Dim kt(Nodos - 1) As Double
        Dim k(Nodos - 1) As Double
        Dim depredadores_kb() As Integer
        Dim presas_kb(Nodos - 1) As Integer
        Dim depredadores_kt(Nodos - 1) As Integer
        Dim presas_kt() As Integer
        Dim x, y As Integer
        dgvMatrizEspecieClave.Columns.Clear()
        dgvMatrizEspecieClave.Rows.Clear()
        If rdbBinaria.Checked Then
            For x = 0 To Nodos - 1
                For y = 0 To Nodos - 1

```

```

        matriz(x, y) = MatrizBinaria(x, y)
    Next
Next
Else
For x = 0 To Nodos - 1
    Dim presas_nodo As Integer = 0
    Dim depredadores_nodo As Integer = 0
    For y = 0 To Nodos - 1
        If matriz(x, y) > 0 Then
            presas_nodo += matriz(x, y)
        End If
        If matriz(y, x) > 0 Then
            depredadores_nodo += matriz(y, x)
        End If
    Next
    presas_kb(x) = presas_nodo
    depredadores_kt(x) = depredadores_nodo
Next

For x = 0 To Nodos - 1

    Dim contador_kb As Integer = 0
    For y = 0 To Nodos - 1
        If matriz(y, x) > 0 Then
            If contador_kb = 0 Then
                ReDim depredadores_kb(contador_kb)
            Else
                ReDim Preserve depredadores_kb(contador_kb)
            End If
            depredadores_kb(contador_kb) = y
            contador_kb += 1
        End If
    
```

```

Next
kb(x) = 0
If contador_kb > 0 Then
    For y = 0 To depredadores_kb.GetUpperBound(0)
        kb(x) += (1 / presas_kb(depredadores_kb(y))) * (1 +
kb(depredadores_kb(y)))
    Next
End If
Next
For x = Nodos - 1 To 0 Step -1
    Dim contador_kt As Integer = 0
    For y = 0 To Nodos - 1
        If matriz(x, y) > 0 Then
            If contador_kt = 0 Then
                ReDim presas_kt(contador_kt)
            Else
                ReDim Preserve presas_kt(contador_kt)
            End If
            presas_kt(contador_kt) = y
            contador_kt += 1
        End If
    Next
    kt(x) = 0
    If contador_kt > 0 Then
        For y = presas_kt.GetUpperBound(0) To 0 Step -1
kt(x) += (1 / depredadores_kt(presas_kt(y))) * (1 + kt(presas_kt(y)))
        Next
    End If
    k(x) = kt(x) + kb(x)
Next
If Parciales Then
    dgvMatrizEspecieClave.Columns.Add("Kb", "Kb")

```

```

        dgvMatrizEspecieClave.Columns.Add("Kt", "Kt")
    End If
    dgvMatrizEspecieClave.Columns.Add("K", "K")
    dgvMatrizEspecieClave.TopLeftHeaderCell.Value = "Grupo funcional"
    For x = 0 To Nodos - 1
        dgvMatrizEspecieClave.Rows.Add()
        dgvMatrizEspecieClave.Rows(x).HeaderCell.Value=frm
Principal.dgvMatrizEntrada.Rows(x).HeaderCell.Value
        If Parciales Then
            dgvMatrizEspecieClave.Item("Kb", x).Value = Math.Round(kb(x), 3).ToString
            dgvMatrizEspecieClave.Item("Kt", x).Value = Math.Round(kt(x), 3).ToString
        End If
        dgvMatrizEspecieClave.Item("K", x).Value = Math.Rund(k(x), 3).ToString
    Next
End Sub

Private Sub frmEspecieClave_Resize(ByVal sender As Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Me.Resize
    dgvMatrizEspecieClave.Height = Me.Height - 142
    dgvMatrizEspecieClave.Width = Me.Width - 34
End Sub

Private Sub chkParciales_CheckedChanged(ByVal sender As System.Object,
ByVal e As System.EventArgs) Handles chkParciales.CheckedChanged
    Parciales = chkParciales.Checked
End Sub

Private Sub btnRecalcular_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles btnRecalcular.Click
End Sub
End Class

```

Anexo 4. Taxones obtenidos durante las capturas de las redes de arrastre, con su abundancia numérica (AR%), Índice de Valor Biológico de Sanders (IVB), que considera a las especies que contribuyen con 95% de la abundancia total. Porcentaje de similitud (Sim.) en el periodo y disimilitud (Dism.) entre ambos periodos.

Familia	Especie	1994-1995			2006-2007			Dism.
		AR%	IVBR%	Sim.	AR%	IVBR%	Sim.	
ACHIRIDAE	<i>Achirus mazatlanus</i>	0.23	0.9	1.64	0.33	0.2	1.79	0.43
	<i>Achirus panamensis</i>	0.01						
	<i>Trinectes fonsecensis</i>	0.01			0.19	0.27		0.84
ALBULIDAE	<i>Albula pacifica</i>				0.05			
ANTENNARIIDAE	<i>Antennarius avalonis</i>	0.02			0.02			
APOGONIDAE	<i>Apogon pacificus</i>				0.12	0.07		0.57
	<i>Apogon retrosella</i>	0.18						
ARIIDAE	<i>Bagre panamensis</i>	0.04			1.59	3.11	1.8	1.69
	<i>Cathorops spp.</i>				14.7	7.08	5.28	3.45
	<i>Sciades seemanni</i>	0.28	1.12					0.93
	<i>Sciades spp.</i>	0.01						
BALISTIDAE	<i>Balistes polylepis</i>	0.02			0.16			
BOTHIDAE	<i>Bothus constellatus</i>	0.16						
	<i>Bothus leopardinus</i>	0			0.12		0.86	0.73
	<i>Engyophrys sanctilaurentii</i>				0.46	0.99		0.9
BATRACHOIDIDAE	<i>Porichthys analis</i>	2.64	3.8	4.15	1.34	2.38	2.02	0.71
CARANGIDAE	<i>Alectis ciliaris</i>				0.05			
	<i>Caranx caballus</i>				0.12	0.13		0.39
	<i>Caranx caninus</i>				0.07			0.38
	<i>Caranx otrynter</i>				0.03			
	<i>Chloroscombrus orqueta</i>	2.25	2.95	3.53	4.5	5.29	3.93	0.9
	<i>Hemicaranx leucurus</i>				0.1			0.48
	<i>Selar crumenophthalmus</i>	0.02			0.02			
	<i>Selene brevoortii</i>	0.05			0.1			0.55
	<i>Selene peruviana</i>	0.68	1.79	3.05	5.94	5.42	3.95	1.28
	<i>Trachinotus paitensis</i>				0.01			
CENTROPOMIDAE	<i>Centropomus robalito</i>	1.75	1.25		0.48	0.93		1.09
CHAETODONTIDAE	<i>Chaetodon humeralis</i>	0			0.13			0.74
CLUPEIDAE	<i>Lile stolifera</i>	1.9	3.13	2.86				1.81
	<i>Opisthonema libertate</i>	0.07			0.16		0.85	0.75
CYNOGLOSSIDAE	<i>Symphurus chabanaudi</i>				0.02			
	<i>Symphurus elongatus</i>		1.16	2.15	0.09	1.72	2.26	0.65
	<i>Symphurus fasciolaris</i>	0.44			0.88			



DIODONTIDAE	<i>Diodon holocanthus</i>				0.01			
ENGRAULIDAE	<i>Anchoa lucida</i>	0.38	0.85					0.77
	<i>Anchoa walkeri</i>				1.88	3.57	3.07	2.19
	<i>Anchovia macrolepidota</i>				0.26	0.13		
EPHIPPIDAE	<i>Chaetodipterus zonatus</i>	0.19	0.27		0.43	0.79	0.86	0.73
FISTULARIIDAE	<i>Fistularia corneta</i>				0.21		1.42	1.05
GERREIDAE	<i>Diapterus brevirostris</i>	0.7	1.88	2.7	2.77	2.25	2.17	0.74
	<i>Eucinostomus currani</i>				4.04	3.84	3.19	2.49
	<i>Eucinostomus dowii</i>	8.68	5.1	5.45				2.79
	<i>Eucinostomus gracilis</i>				2.66	4.03	3.35	2.37
GOBIIDAE	<i>Bollmannia ocellata</i>				0.22	0.33		0.43
HAEMULIDAE	<i>Anisotremus dovii</i>				0.09			0.58
	<i>Conodon serrifer</i>	0.05			0.03			
	<i>Haemulopsis axillaris</i>				8.2	6.28	4.75	3.12
	<i>Haemulopsis leuciscus</i>	5.81	3.94	4.13				2.26
	<i>Orthopristis chalceus</i>	0.33	1.16		0.57	1.12	2	0.92
	<i>Orthopristis spp.</i>	1.19	1.48					0.98
	<i>Pomadasys bayanus</i>	0.01						
	<i>Pomadasys panamensis</i>	3.57	3.98	4.9	5.73	4.83	3.65	0.58
	<i>Pomadasys spp.</i>	0.07						
	<i>Xenichthys xanti</i>				0.01			
LOPHIIDAE	<i>Lophiodes caulinaris</i>	0.02			0.13	0.2		0.43
LUTJANIDAE	<i>Lutjanus argentiventris</i>	0.01						
	<i>Lutjanus colorado</i>	0.01						
	<i>Lutjanus guttatus</i>	0.69	1.52	2.84	0.56	1.46	2.31	
	<i>Lutjanus jordani</i>				0.01			
MALACANTHIDAE	<i>Caulolatilus affinis</i>	0.02						
MUGILIDAE	<i>Mugil cephalus</i>	0.01						
	<i>Mugil curema</i>				0.01			
MULLIDAE	<i>Mulloidichthys dentatus</i>	0.18						
	<i>Pseudupeneus grandisquamis</i>	4.38	4.56	5.1	8.08	5.89	4.35	0.64
MURAENESOCIDAE	<i>Cynoponticus coniceps</i>				0.03			
MURAENIDAE	<i>Gymnothorax equatorialis</i>	0.01						
NEMATISTIIDAE	<i>Nematistius pectoralis</i>	0.01						
OGCOEPHALIDAE	<i>Zalieutes elater</i>	0.41	0.54		0.02			0.49
OPHICHTHIDAE	<i>Ophichthus triserialis</i>				0.05			
	<i>Ophichthus zophochir</i>	0.01						
OPHIDIIDAE	<i>Brotula clarkae</i>	0.9	2.06	2.45				1.46
	<i>Lepophidium prorates</i>				0.3	0.33	1.76	1.25
PARALICHTHYIDAE	<i>Ancylopsetta dendritica</i>				0.05			0.39
	<i>Citharichthys platophrys</i>				0.01			
	<i>Cyclopsetta querna</i>	0.4	1.57	1.51	4.39	4.96	3.92	1.62

	<i>Etropus crossotus</i>	5.6	4.97	5.77	0.64	1.46	1.86	1.14
	<i>Hippoglossina tetrophthalma</i>				0.01			
	<i>Paralichthys spp.</i>	1.01	1.3					0.77
	<i>Syacium ovale</i>				8.58	5.42	3.89	2.91
POLYNEMIDAE	<i>Polydactylus approximans</i>	2.58	3.09	2.66	0.43	0.93	1.61	1
	<i>Polydactylus opercularis</i>	0.09			0.15			0.68
PRIACANTHIDAE	<i>Pristigenys serrula</i>	0.01	0.13		0.01			
PRISTIGASTERIDAE	<i>Opisthopterus dovii</i>				0.1			0.41
	<i>Pliosteostoma lutipinnis</i>	0.06						
SCIAENIDAE	<i>Cynoscion phoxocephalus</i>				0.07			
	<i>Cynoscion reticulatus</i>	0.22	0.67		0.05			0.56
	<i>Cynoscion spp.</i>	0.4	0.45					0.39
	<i>Cynoscion stolzmanni</i>	3.16	2.64	1.65				1.63
	<i>Cynoscion xanthulus</i>	0.21	1.12					0.88
	<i>Isopisthus remifer</i>				1.41	2.32	2.14	1.83
	<i>Larimus acclivis</i>	1.29	1.61					1.02
	<i>Larimus argenteus</i>	1.29	2.82	3.81	1.29	1.52	1.88	0.65
	<i>Menticirrhus nasus</i>	3.55	4.52	5.75	0.04			2.22
	<i>Micropogonias ectenes</i>	0.66	0.67					0.45
	<i>Ophioscion imiceps</i>	0.33	0.36					
	<i>Paralanchurus goodei</i>				0.26	0.07	1.25	1.07
	<i>Stellifer furthii</i>	0.01						
	<i>Stellifer illecebrosus</i>	0.41	0.58		3.95	4.23	3.44	2.1
	<i>Umbrina analis</i>				0.19			0.38
	<i>Umbrina roncadore</i>				0.07	0.2	0.87	0.86
	<i>Umbrina xanti</i>	0.88	0.9					0.48
SCOMBRIDAE	<i>Scomber japonicus</i>	0.19						
	<i>Scomberomorus sierra</i>	0.3	0.31		0.04			0.58
SCORPAENIDAE	<i>Pontinus sierra</i>	2.01	2.46	2.01				1.6
	<i>Scorpaena histrio</i>				0.08			
	<i>Scorpaena russula</i>	0.23	0.13		0.12	0.2		0.64
SERRANIDAE	<i>Diplectrum labarum</i>				3.01	4.43	3.34	2.41
	<i>Diplectrum maximum</i>	0.04						
	<i>Diplectrum pacificum</i>	9.16	5.5	6.59	0.04			2.78
	<i>Epinephelus acanthistius</i>	0.04			0.14			0.65
	<i>Epinephelus exsul</i>				0.04			
	<i>Hemanthias peruanus</i>	0.01	0.18					
	<i>Paralabrax loro</i>				0.07			0.45
	<i>Rypticus nigripinnis</i>				0.04			
SPHYRAENIDAE	<i>Sphyræna ensis</i>	0.9	1.34		0.11			0.96
STROMATEIDAE	<i>Peprilus medius</i>	2.19	3.49	4.16	0.84	1.32	1.69	0.76
	<i>Peprilus snyderi</i>	0.64	0.81		0.04			0.85

SYNODONTIDAE	<i>Synodus lacertinus</i>				0.71	1.19		0.74
	<i>Synodus scituliceps</i>	6.3	4.79	5.78	1.01	1.65	1.19	1.36
	<i>Synodus spp.</i>				0.22	0.4		0.68
TETRAODONTIDAE	<i>Sphaeroides annulatus</i>	0.4	1.03		0.02			0.73
	<i>Sphaeroides lobatus</i>	0.21	0.63		1.36	3.11	2.91	1.42
	<i>Sphaeroides sechurae</i>				0.07			0.5
	<i>Sphaeroides spp.</i>	0.06						
TRICHIURIDAE	<i>Trichiurus nitens</i>	0.06			0.06			0.42
TRIGLIDAE	<i>Bellator loxias</i>	6.98	2.73		0.39	0.66		1.43
	<i>Bellator xenisma</i>				0.01			
	<i>Prionotus ruscarius</i>	0.01			0.01			
	<i>Prionotus stephanophrys</i>	9.27	5.1	5.53	1.53	3.31	2.9	0.95
GYMNURIDAE	<i>Gymnura marmorata</i>				0.03			
NARCINIDAE	<i>Narcine vermiculatus</i>				0.01			
RHINOBATIDAE	<i>Rhinobatos glaucostigma</i>	0.32	0.67		0		0.74	0.64
MYLIOBATIDAE	<i>Rhinoptera steindachneri</i>				0.02			
UROLOPHIDAE	<i>Urotrygon aspidura</i>				0.03			
	<i>Urotrygon chilensis</i>	0.02						
	<i>Urotrygon munda</i>	0.09						
	<i>Urotrygon nana</i>				0.04			
	<i>Urotrygon rogersi</i>				0.12		0.97	0.79

## Anexo 5. Algoritmo de búsqueda en amplitud (BFS).

Es un algoritmo para recorrer o buscar elementos de una red conexa, de manera eficiente. La ponderación para cada una de las aristas corresponde al valor de 1. Para realizar el recorrido se procede de la siguiente manera:

1. Selección al azar de un nodo de una red.
2. Hacer el recorrido a los nodos adyacentes, a través de las aristas; al momento de llegar al nodo, se pondrá una marca; se debe evitar formar ciclos.
3. Se repiten los pasos anteriores hasta tener todos los nodos marcados.

Al término del recorrido de la amplitud, de manera natural se habrá creado un árbol; en este momento conoceremos las rutas cortas y la matriz correspondiente.

Ejemplo: sea una red no dirigida y conexa formada por 8 nodos y 10 aristas, encontrar las rutas cortas, al considerar el valor de uno en la ponderación de las aristas (Fig. 24a).

*Primera iteración.* Se selecciona al azar el nodo; en nuestro caso es en 1; hacer el recorrido a los nodos adyacentes 2, 3 y 4; se marcan los nodos y se procede a la siguiente iteración (Fig. 24b).

*Segunda iteración.* A partir de los nodos marcados, inician el recorrido hacia sus nodos adyacentes 5, 6, 7 y 8 (Fig. 24c). El proceso se termina cuando el total de los nodos están señalados; de esta manera, se obtienen las rutas cortas de la red (Fig. 24d).

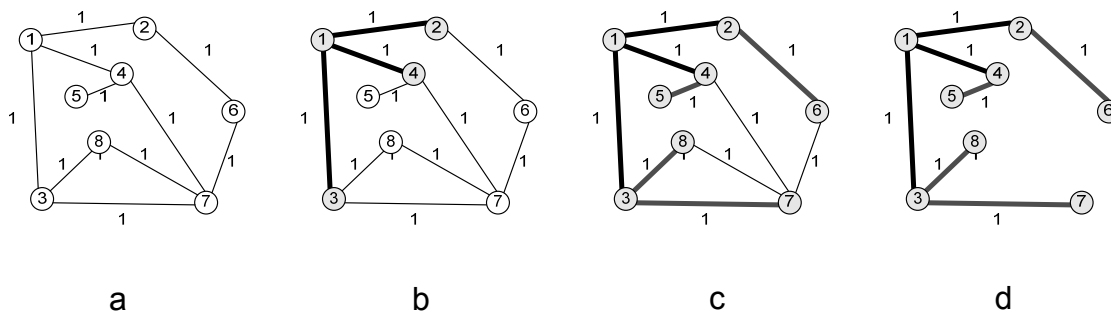


Figura 24. Secuencia de construcción del árbol mínimo o rutas cortas de una red, a través del algoritmo de búsqueda de amplitud (tomado de Coto, 2003).

Anexo 6. Periodos de veda entre temporadas de pesca del camarón.

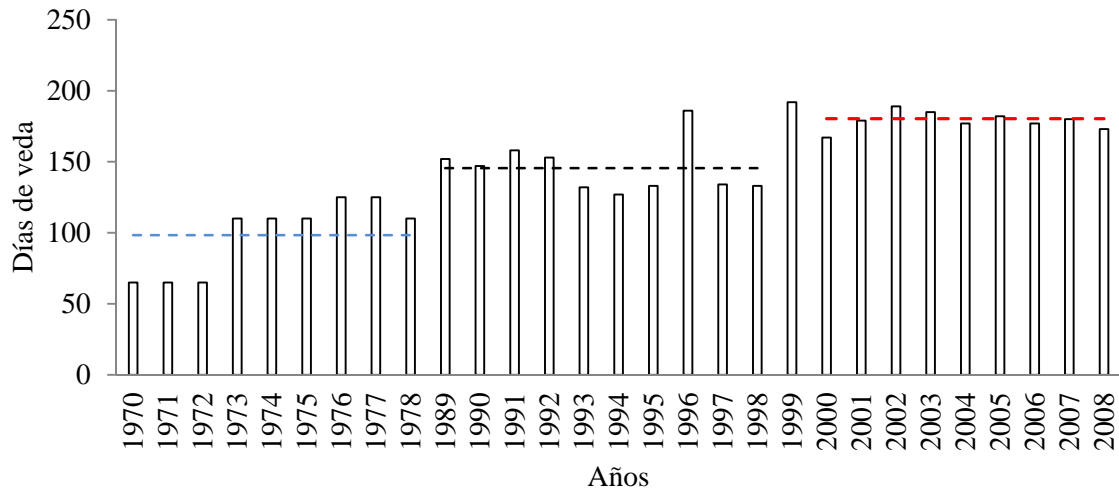


Figura 25. Veda de camarón en el Océano Pacífico mexicano. La línea indica el promedio de días de veda durante 1970/1978 (Rodríguez-De la Cruz, 1981b), 1989/1998 y 2000/2008 (DOF, 1989-2008).

Anexo 7. Estrés de la comunidad de peces asociados a fondos blandos del sur de Sinaloa en 1994-1995 (S'94, D'94, A'95 y J'95) y 2006-2007 (S'06, D'06, E'07 y F'07).

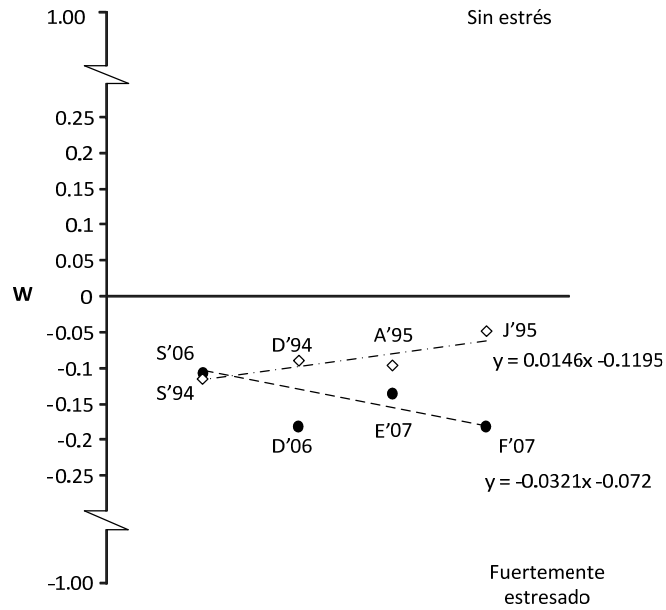


Figura 26. Estadístico  $W$  durante los cruceros de las épocas a comparar.

Anexo 8. Casos de estudio publicados por Warwick y Clarke (2001).

Para determinar los índices de diferenciación topológica ( $D_{TN}$ ), fue necesario construir la matriz madre y considerar la presencia y ausencia de las especies, para construir la matriz de adyacencia de la matriz madre y de cada caso (Tablas 3 y 4).

Tabla 3. Matrices madre y de presencia/ausencia.

				Matriz							
				Madre		Presencia/ ausencia					
Especie	Género	Familia	Orden	a	b	c	d	e	f		
1a	G1	F	O	1	1	1	1	1	1		
1b	G1	F	O				1				
1c	G1	F	O				1				
2a	G2	F	O	1	1	1			1		
2b	G2	F	O	1			1		1		
2c	G2	F	O				1		1		
2d	G2	F	O				1				
2d	G2	F	O								
3a	G3	F	O	1	1	1		1	1		
3b	G3	F	O	1	1			1	1		
3c	G3	F	O	1	1			1			
3d	G3	F	O	1	1			1			
3e	G3	F	O		1			1			
3f	G3	F	O		1			1			
3g	G3	F	O		1						
4	G4	F	O				1				
5	G5	F	O				1				
6	G6	F	O				1				
7	G7	F	O				1				
8	G8	F1	O						1		



Anexo 8. (Continuación).

Tabla 4. Matriz de adyacencia construida para el árbol taxonómico hipotético (a).

	O	F	G1	G1,1a	G2	G2,2a	G2,2b	G3	G3,3a	G3,3b	G3,3c	G3,3d
O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G1,1a	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G2,2a	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
G2,2b	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
G3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G3,3a	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
G3,3b	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
G3,3c	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
G3,3d	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

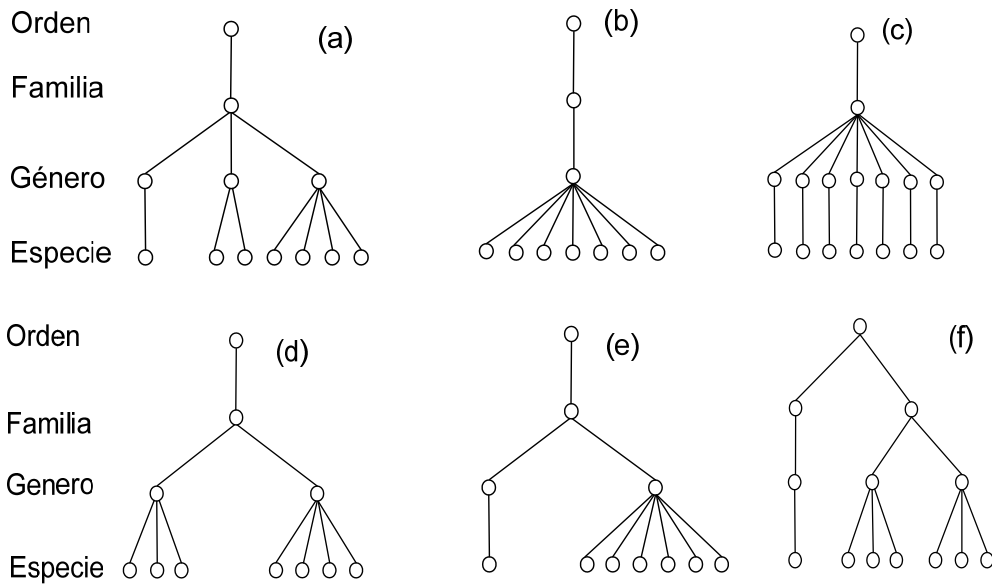


Figura 27. Arreglos taxonómicos hipotéticos propuestos por Warwick y Clarke (2001), para mostrar la distinción taxonómica promedio como medida de la diversidad biológica para muestras con la misma riqueza de especies.

Anexo 8. (Continuación).

Tabla 5. Valores de los índices estimados para los árboles taxonómicos propuestos por Warwick y Clarke (2001), para demostrar las propiedades de la distinción taxonómica promedio.  $D_{TN}$ : Diferenciación topológica y  $\Delta+$ : Distinción taxonómica promedio y  $F^+$ : Diversidad filogenética.

Estructura	$D_{TN}$	$\Delta+$	$F^+$
c	46.16	67	71
f	38.98	67	57
a	34.60	56	52
d	31.27	52	48
e	30.27	43	48
b	26.13	33	43

Tabla 6. Coeficiente correlación de Spearman de los índices obtenidos en los seis árboles taxonómicos hipotéticos, construidos con la misma riqueza de especies.

	$D_{TN}$	$\Delta+$	$F^+$
$D_{TN}$		0.986	0.986
$\Delta+$			0.971
$F^+$			

Anexo 9. Método y resultados de la simulación de árboles taxonómicos.

Para de conocer la tendencia de este índice de grado, la diferenciación topológica ( $D_{TN}$ ) y el índice de especie clave K, fue necesario construir cien redes con el programa SICAMA 1.0, a partir de una selección aleatoria de especies consideradas en la matriz madre que considera a las épocas 1994-1995 y 2006/7. Igualmente, se estimó la distinción taxonómica promedio de estas redes, para de comparar las tendencias los índices, en virtud de que Warwick & Clarke (1995) lo consideran como un índice estructural, en función de la distancia promedio entre especies. Además, se determinó la correlación de Spearman con el propósito de conocer la relación la relación entre estos índices e indicadores globales.

Los resultados muestran que la tendencia del índice de Diferenciación topológica se ajusta a una potencial ( $p < 0.05$ ,  $R^2 = 0.88$ ), mientras que la distinción taxonómica promedio presenta una tendencia a una distribución de cono descrita por Warwick & Clarke (1995) para este índice. La correlación de Spearman mostró la no existencia de correlación entre la distinción taxonómica y la diferenciación topológica (Tabla 7).

Tabla 7. Coeficiente de correlación de Spearman de la diferenciación topológica ( $D_{TN}$ ), Conectividad (C), Uniones (L), índice de grado (D), índice de especie clave K y distinción taxonómica promedio.

	$D_{TN}$	C	L	D	K	$\Delta^+$
$D_{TN}$		-0.990	0.990	0.990	0.990	-0.065
C			-0.990	-0.990	-0.990	0.069
L				0.990	0.990	-0.069
D					0.990	-0.071
K						-0.070
$\Delta^+$						

Anexo 9. (Continuación).

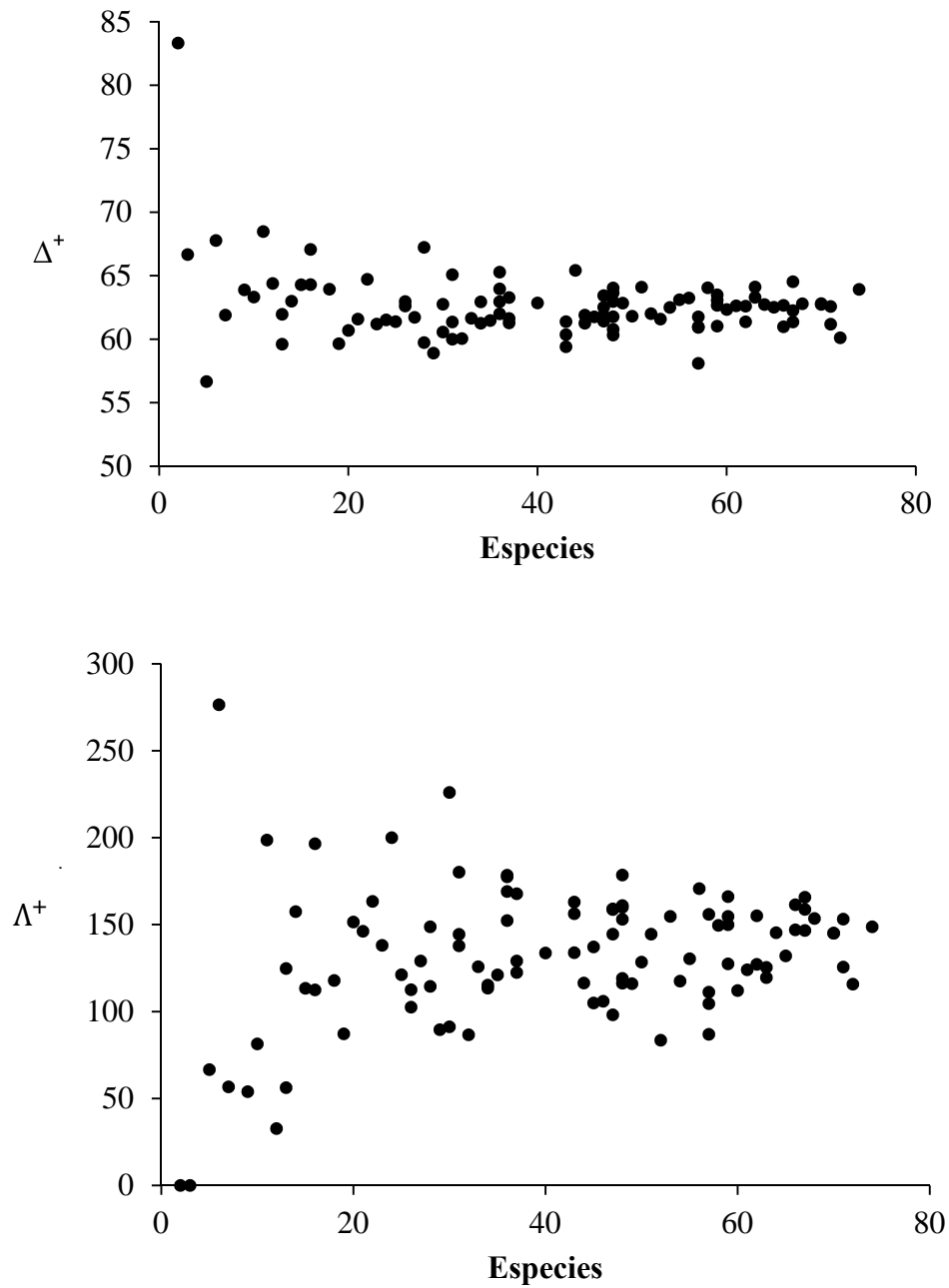


Figura 28. Estimación de la distinción taxonómica promedio ( $\Delta^+$ ) y variación de la distinción taxonómica promedio ( $\Lambda^+$ ), para 100 árboles taxonómicos con riqueza que va de 2 a 74 especies.

Anexo 9. (Continuación).

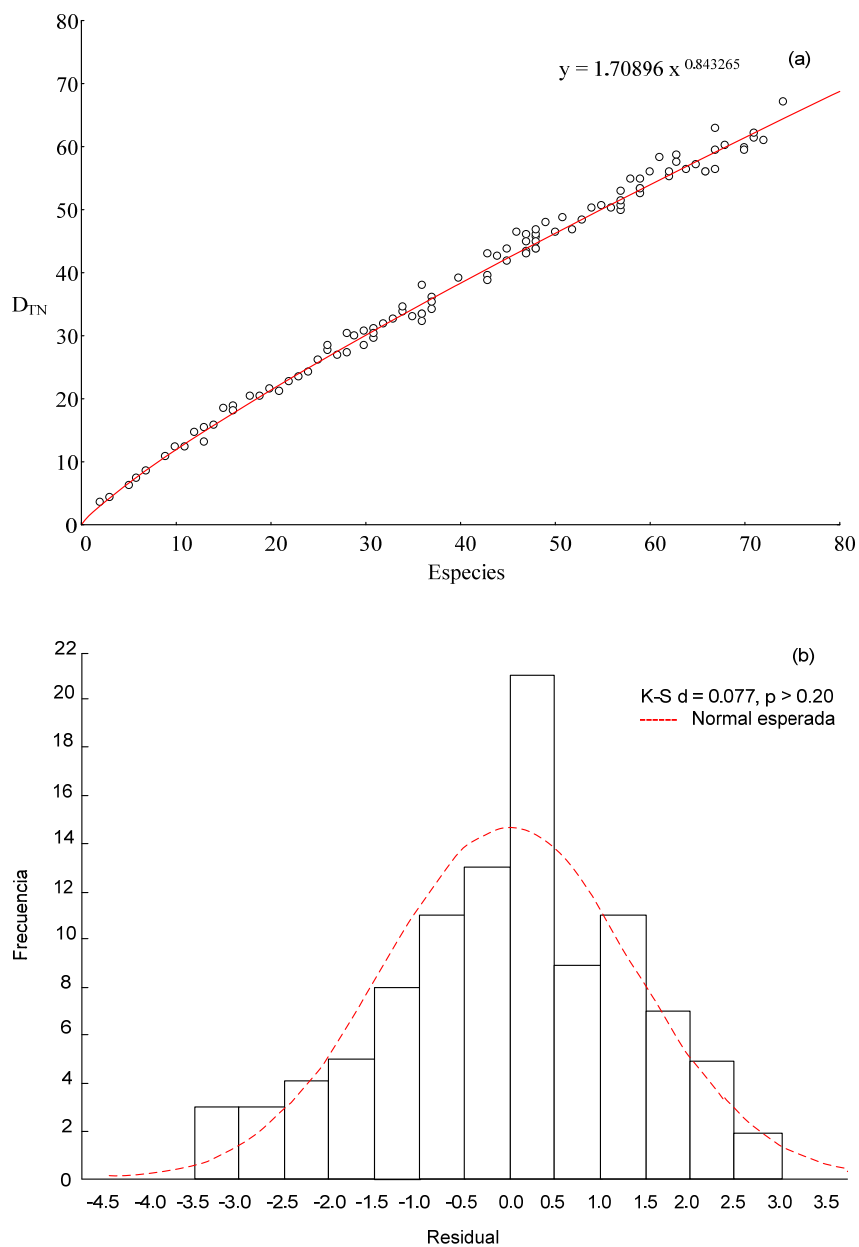


Figura 29. Ajuste del modelo potencial y residual para la variable de respuesta el índice de diferenciación topológica ponderado al número de taxones del árbol taxonómico general ( $D_{TN}$ ).

Anexo 9. (Continuación).

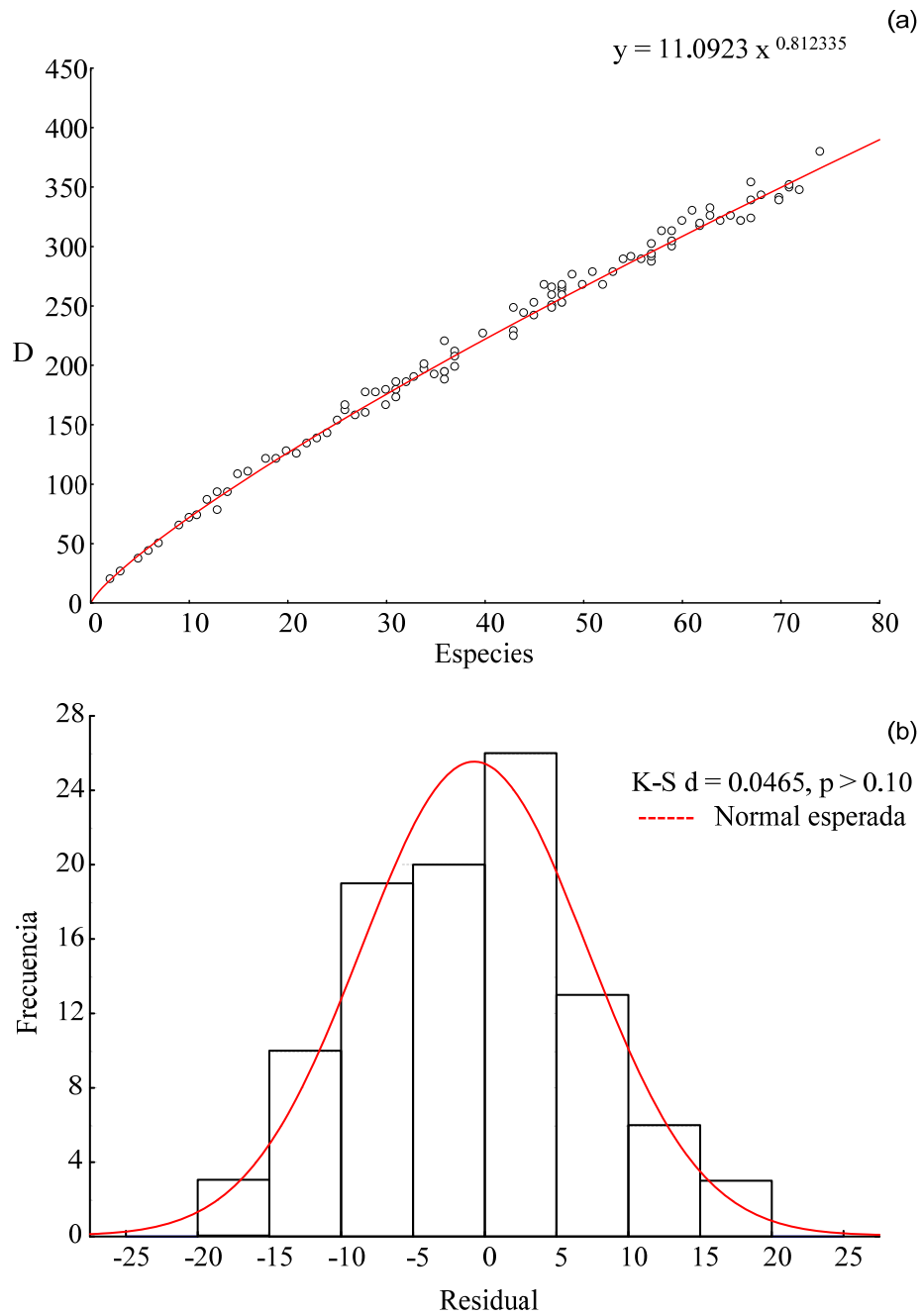


Figura 30. Modelo potencial y residual para la variable de respuesta el índice de grado (D).

Anexo 9. (Continuación).

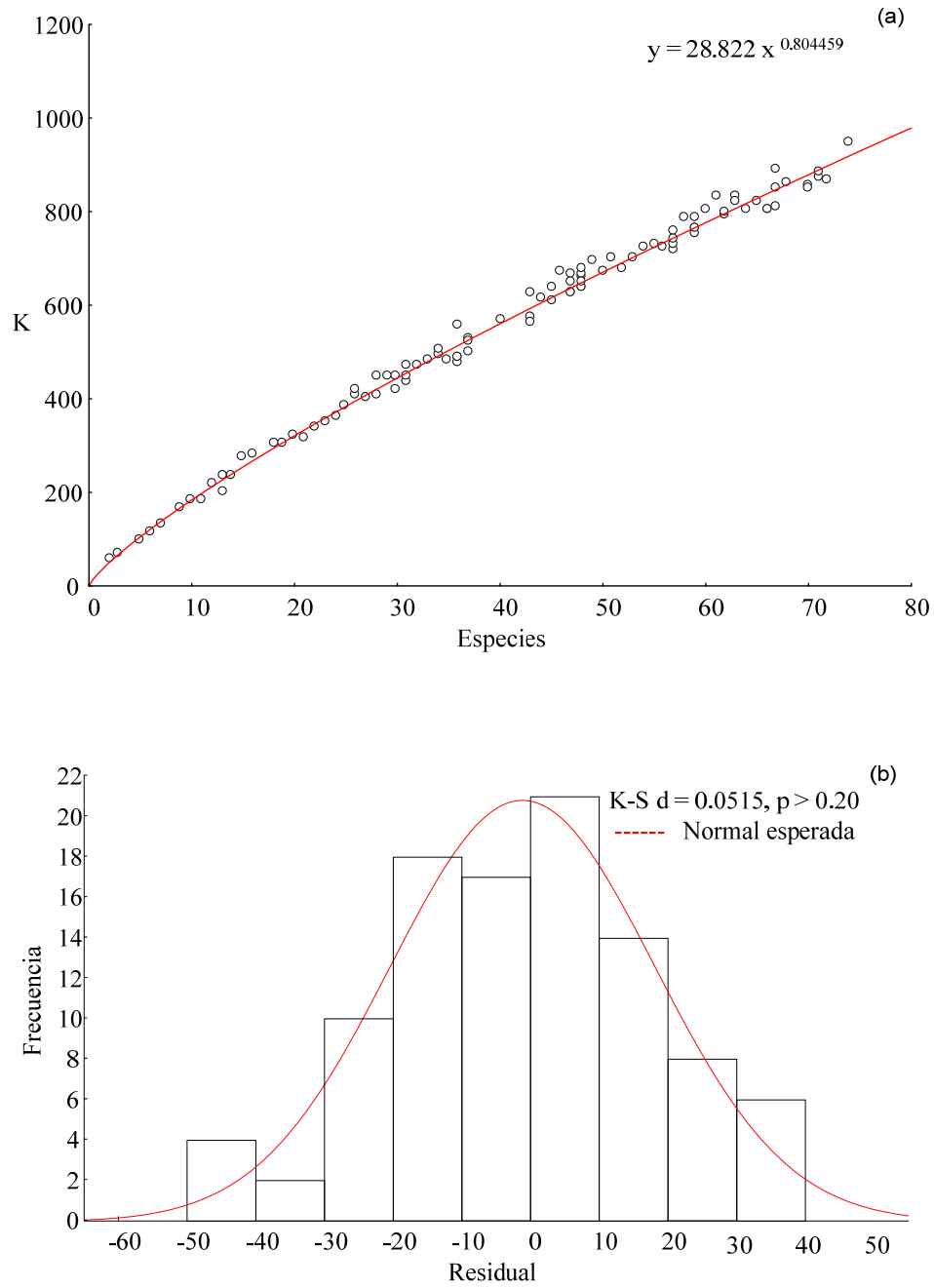


Figura 31. Modelo potencial y residual para la variable de respuesta el índice de especie clave K.

Anexo 10. Dependencia de la diferenciación topológica ( $D_{TN}$ ).

Para mostrar el desempeño de  $D_{TN}$ , se consideró el caso f de Warwick y Clarke (2001) y cinco variantes, para los cuales se calculó el índice con base en el total de nodos (30) de la matriz madre de los seis casos considerados en el anexo 8.

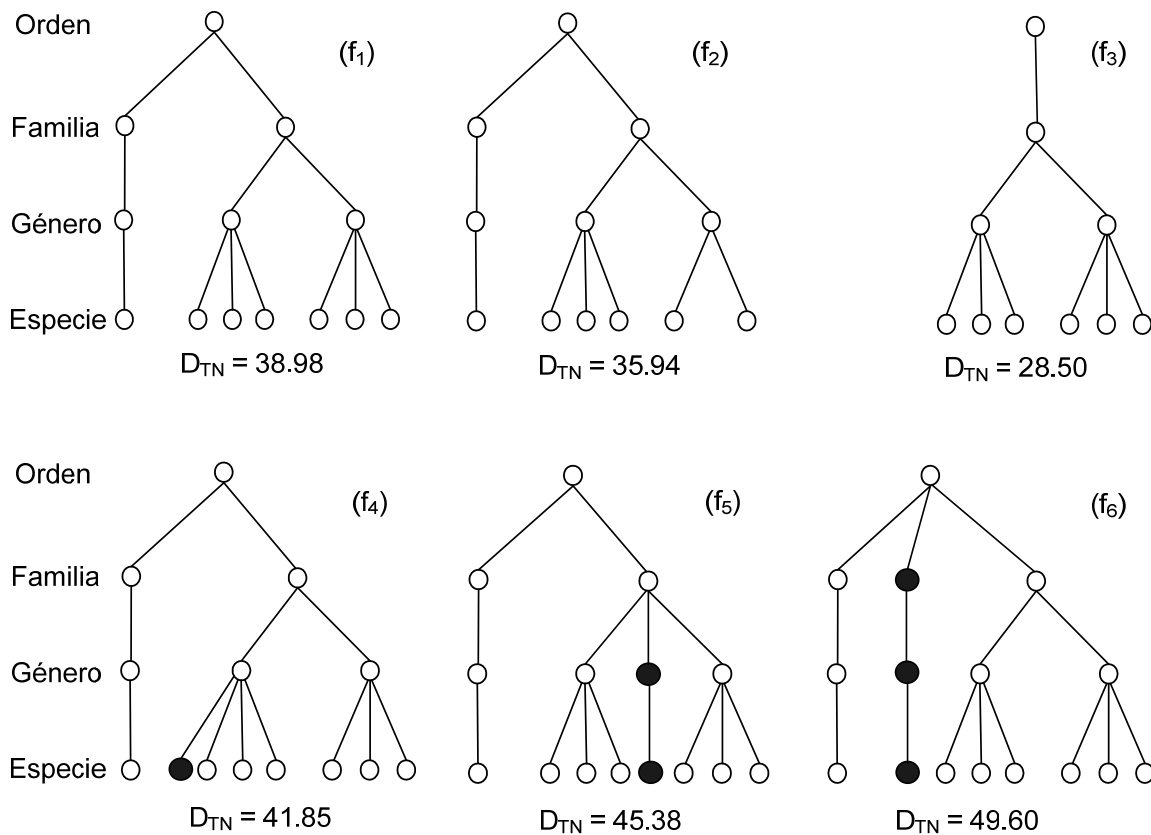


Figura 32. Ejemplo del desempeño de la diferenciación topológica ( $D_{TN}$ ) en diferentes estados de un árbol taxonómico, al quitar especies que perteneces al mismo Género (f<sub>2</sub>) u Orden (f<sub>3</sub>) y agregar especies que se unen a nivel de Género (f<sub>4</sub>), Familia (f<sub>5</sub>) u Orden (f<sub>6</sub>).



Anexo 11. Arquitectura topológica de árboles taxonómicos de las familias Scianidae y Carangidae identificadas como importantes en cada época por los indicadores estructurales utilizados.

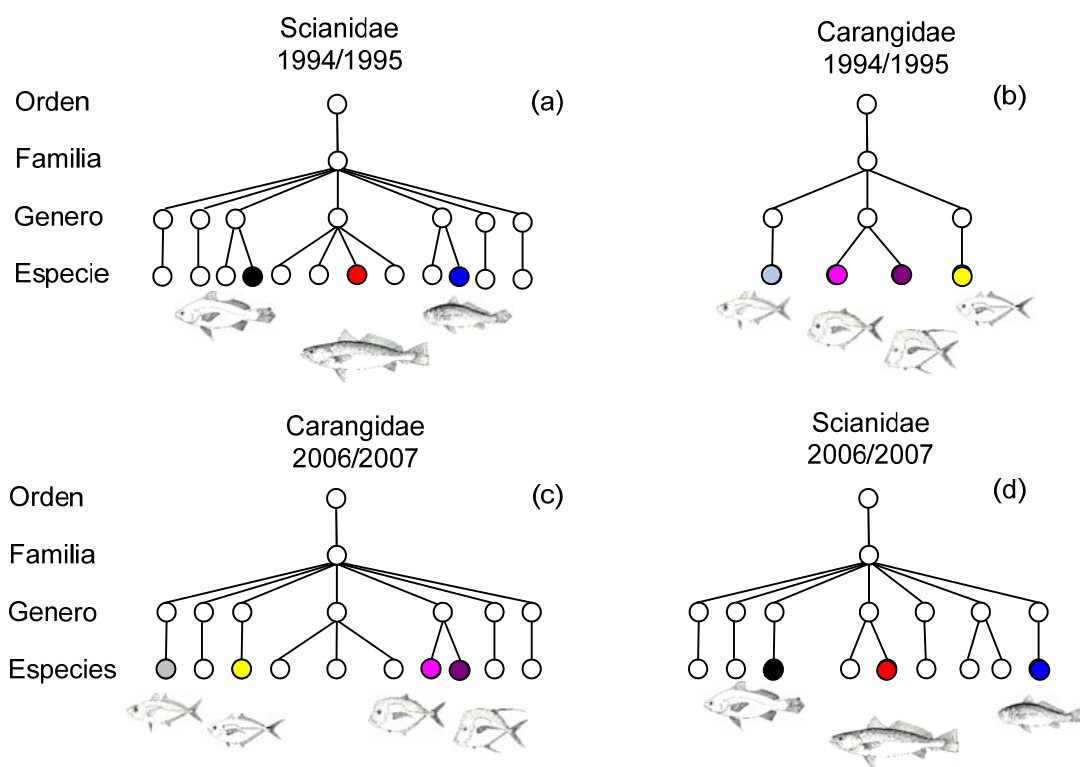


Figura 33. Familias de importancia topológica en ambos periodos 1994-1995 (a y b) y 2006-2007 (c y d). Los puntos de color diferente al blanco, representan a las especies comunes en ambas épocas.

Anexo 12. Comparación topológica de un árbol taxonómico y una red trófica de la época 1994-1995.

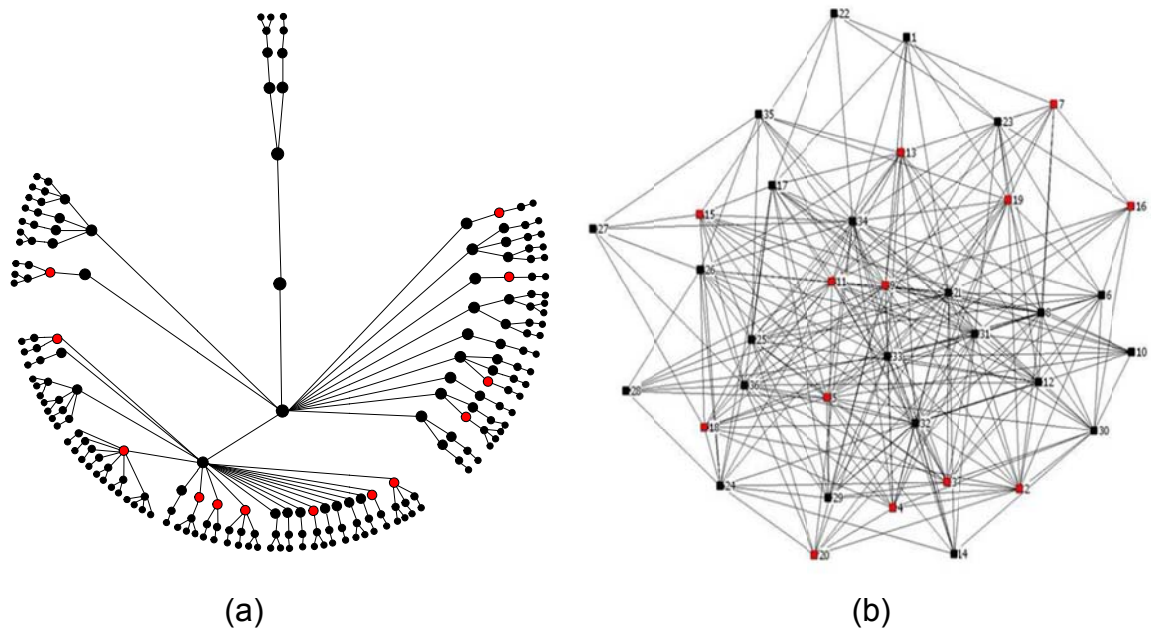


Figura 34. Árbol taxonómico y red trófica de 1994-1995 de la costa sur de Sinaloa. Los círculos rojos indican las 13 familias comunes en las dos redes.

Anexo 12. (Continuación).

Tabla 8. Familias de peces presentes en el árbol taxonómico (AT) y en la red trófica (RT). La centralidad de las redes fue calculada con base en cuatro índices topológicos (D, BC<sub>i</sub>, CC<sub>i</sub> y K).

Familia	D		BC <sub>i</sub>		CC <sub>i</sub>		K	
	AT	RT	AT	RT	AT	RT	AT	RT
Sciaenidae	8	17	54	22.02	1.019	66.518	18.06	8.75
Haemulidae	5	19	33	43.03	1.000	61.075	11.06	9.53
Carangidae	4	26	21	101.70	0.990	73.718	7.06	6.87
Serranidae	4	24	21	79.10	0.990	66.663	7.06	4.55
Ariidae	4	19	21	25.48	0.990	55.730	8.13	3.00
Clupeoidae	3	15	12	4.79	0.983	10.670	4.38	1.48
Gerreidae	3	13	12	8.01	0.983	33.298	4.06	1.60
Lutjanidae	2	20	12	16.76	0.983	69.809	4.06	5.21
Centropomidae	2	15	6	5.00	0.978	62.518	2.06	3.15
Scombridae	2	13	9	46.96	0.980	61.110	3.06	8.34
Tetraodontidae	2	13	12	7.36	0.983	10.470	4.56	1.41
Mugilidae	2	10	6	1.47	0.978	10.086	3.13	0.70
Synodontidae	2	8	6	4.68	0.978	52.303	3.13	1.15

Tabla 9. Correlación de Spearman de índices topológicos de familias comunes en el árbol taxonómico y la red trófica de 1994-1995.

Árbol taxonómico	Red trófica			
	D	BC <sub>i</sub>	CC <sub>i</sub>	K
D	0.614*	0.579*	0.344	0.571*
BC		0.685*	0.425	0.651*
CC			0.425	0.651*
K				0.444

\* p < 0.05

Anexo 13.  
Contribuciones generadas durante el doctorado.