

Characterization of fish assemblages in a tropical coastal lagoon in the northwest Gulf of Mexico

Caracterización de los conjuntos de peces en una laguna costera tropical del noroeste del Golfo de México

Silvia Díaz-Ruiz¹Marco Aurelio Pérez-Hernández²Arturo Aguirre-León³

¹ Departamento de Hidrobiología
 Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa
 Apartado postal 55-535
 Iztapalapa, CP 09340, D.F., México
 E-mail: sdr@xanum.uam.mx

² Departamento de Biología
 Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa
 Apartado postal 55-535
 Iztapalapa, CP 09340, D.F., México

³ Departamento El Hombre y su Ambiente
 Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco
 Apartado postal 23-181
 Xochimilco, CP 0496, D.F., México

Recibido en junio de 2002; aceptado en septiembre de 2003

Abstract

Tamiahua is one of the largest estuarine-lagoonal systems in the Mexican Gulf of Mexico. It has great economic and ecological importance due to high fisheries productivity and because it serves as a nursery, feeding and reproduction area for numerous populations of fishes and crustaceans. Spatial and temporal variations of fish diversity, abundance, dominant species and community inhabitants were determined based on samples taken on a bimonthly basis from May 1994 to March 1995. A total of 83 species, 62 genera and 32 families were collected, of which 14 species, 8 genera and 3 families were recorded for the first time in this area. Based on our collections and earlier reports, 136 species are known to use this lagoon system at some stage of their life cycle. The highest diversity and abundance values occurred during the rainy season ($H'n = 2.7$, $D = 7.1$, and $J' = 0.6$; biomass = 59.3 g m^{-2} , density = 5.8 ind m^{-2} , and average weight = 10.2 g ind^{-1}). Seasonal fluctuation of these parameters reflects the life cycles of different species (mainly the dominant species) related to the environmental dynamics of the ecosystem. Based on a graph-statistical analysis of the abundance and frequency data of 22,984 individuals, the fish species inhabiting the system were classified into four groups: resident, transient, irregular and rare. This analysis revealed the presence of 9 resident species, representing 77% and 73% of the total number of individuals and biomass, respectively. In order of importance, these species were *Anchoa mitchilli*, *Membras vagrans*, *Hyporhamphus roberti*, *Bairdiella chrysoura*, *Eucinostomus melanopterus*, *Strongylura notata*, *Mugil curema*, *Achirus lineatus*, and *Cynoscion nebulosus*.

Key words: fishes, ecology, diversity, abundance, Tamiahua, Gulf of Mexico.

Resumen

Tamiahua es uno de los sistemas lagunares-estuarinos más extensos del Golfo de México. Es de gran importancia económica y ecológica debido a su alta productividad pesquera y constituye un área de crianza, alimentación y reproducción para numerosas poblaciones de peces y crustáceos. Las variaciones espaciales y temporales de la diversidad de peces, abundancia, especies dominantes y componentes comunitarios fueron determinadas de muestras tomadas bimestralmente entre mayo de 1994 y marzo de 1995. De un total de 83 especies, 62 géneros y 32 familias recolectadas, se registraron 14 especies, 8 géneros y 3 familias por primera vez en el área. Basados en esta recolección y trabajos previos, se conoce que 136 especies utilizan el sistema lagunar en alguna etapa de su ciclo de vida. Durante la época de lluvias se presentaron valores altos de diversidad y abundancia ($H'n = 2.7$, $D = 7.1$ y $J' = 0.6$; biomasa = 59.3 g m^{-2} , densidad = 5.8 ind m^{-2} y peso promedio = 10.2 g ind^{-1}). Las fluctuaciones estacionales de estos parámetros reflejan los ciclos de vida de diferentes especies (principalmente las especies dominantes) relacionados con

la dinámica ambiental del sistema. Con base en un análisis gráfico-estadístico utilizando datos de abundancia y frecuencia de 22,984 individuos, se clasificaron las especies que habitan en el sistema como residentes, en tránsito, irregulares y raras. Este análisis reveló la presencia de 9 especies residentes, representando 77% y 73% del número total de individuos y biomasa, respectivamente. En orden de importancia, estas especies fueron *Anchoa mitchilli*, *Membras vagrans*, *Hyporhamphus roberti*, *Bairdiella chrysoura*, *Eucinostomus melanopterus*, *Strongylura notata*, *Mugil curema*, *Achirus lineatus* y *Cynoscion nebulosus*.

Palabras clave: peces, ecología, diversidad, abundancia, Tamiahua, Golfo de México.

Introduction

Tropical lagoon-estuarine ecosystems are often characterized by high ecological complexity, high habitat and species diversity, and high productivity (Day *et al.*, 1989). Because of these factors, the understanding of these ecosystems requires multi-disciplinary and integrative approaches to achieve sustainable management (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1992). Several fishery resources occur in the lagoon systems of the Gulf of Mexico, including a high diversity of important fish species. Despite their importance, the knowledge of fish ecology for many areas in the southern gulf is still incomplete, particularly with regard to distribution, abundance, feeding, growth and reproduction patterns. This information is very important for the development of rational fishery management plans (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1992). There is a great interaction between lagoonal habitat types and different fish groups because these areas are used during several stages of the life cycle of species with different biological requirements (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1985). Many of these species are currently exploited or constitute potential fishery resources. In addition, all of the species have some ecological importance.

Tamiahua is a large coastal lagoon on the northern coast of Veracruz in the western Gulf of Mexico. This is an area with rich biological resources, an important fishery, and a high degree of industrial activity. Hence, knowledge of the coastal ecosystems is necessary to foster enlightened management; however, ecological information for this system is scarce. Different aspects of the fish community structure in Tamiahua Lagoon have been studied (Reséndez, 1970; Kobelkowsky, 1991; Franco-López and Chávez-López, 1992), but these studies were mainly taxonomic in nature and did not consider ecological functioning. Considering the limitations of these studies, the economic importance of the fishery resources, and the potential for environmental impacts, we concluded that there was a need for a more detailed taxonomic analysis and a better ecological understanding of the fish community. Such an effort should be approached in an integrative and systematic way to obtain more complete information on the potential and actual resources of the region and develop better conservation and management alternatives for the fish communities of the coastal zone. Therefore, the objectives of this study were: (1) to determine the composition of the ichthyofauna of Tamiahua Lagoon, Veracruz; (2) to characterize spatial and temporal patterns of the diversity, distribution and abundance of the fish community; and (3) to determine the dominant species and define the fish assemblages of Tamiahua Lagoon.

Introducción

Los ecosistemas lagunares-estuarinos tropicales frecuentemente se caracterizan por una alta complejidad ecológica, gran diversidad de hábitat y especies, y alta productividad (Day *et al.*, 1989); por tanto, el conocimiento de estos ecosistemas requiere de planteamientos multidisciplinarios e integrales para lograr un manejo sustentable (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1992). En los sistemas lagunares del Golfo de México se encuentran varios recursos pesqueros, incluyendo una gran diversidad de especies importantes de peces. A pesar de su importancia, se carece de información sobre la ecología de peces en muchas áreas del sur del golfo, en particular con respecto a los patrones de distribución, abundancia, alimentación, crecimiento y reproducción. Esta información es muy importante para la explotación racional de los recursos pesqueros (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1992). Existe una gran interacción entre los tipos de hábitats lagunares y los diferentes grupos de peces, ya que estas zonas se utilizan durante diversas etapas del ciclo de vida de especies con diferentes requerimientos biológicos (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1985). Actualmente, muchas de estas especies se encuentran sometidas a explotación o constituyen un recurso pesquero potencial; además, todas las especies tienen alguna importancia ecológica.

Tamiahua es una laguna costera extensa localizada en la costa norte de Veracruz, en la parte occidental del Golfo de México. Es una zona rica en recursos biológicos, con una pesquería importante y gran actividad industrial. El conocimiento de sus ecosistemas costeros es indispensable para una administración adecuada; sin embargo, existe poca información ecológica acerca de este sistema. Se han estudiado diferentes aspectos de la estructura de la comunidad de peces en la Laguna de Tamiahua (Reséndez, 1970; Kobelkowsky, 1991; Franco-López y Chávez-López, 1992), pero estos trabajos fueron principalmente de índole taxonómica y no consideraron el funcionamiento ecológico. Tomando en cuenta las limitaciones de estos estudios, la importancia económica de los recursos pesqueros y los impactos ambientales potenciales de su explotación, se evidenció la necesidad de un análisis taxonómico más detallado, así como de un mejor conocimiento de la comunidad de peces. Tal esfuerzo debería tener un enfoque integral y sistemático para obtener mayor información sobre el potencial de los recursos actuales de la región y desarrollar mejores alternativas de conservación y manejo para la comunidad de peces costeros. Por tanto, los objetivos de este trabajo fueron: (1) determinar la composición de la ictiofauna de la Laguna de Tamiahua, Veracruz; (2) caracterizar los patrones

Study area

Tamiahua Lagoon is located in the western part of the Gulf of Mexico (21°06'–22°05' N, 97°23'–97°46' W). It is the largest coastal lagoon in the state of Veracruz (Mexico), with a surface area of 880 km², and a maximum length and width of 100 and 25 km, respectively. The lagoon is shallow, with a mean depth of 2.5 m and a mean tide range of 0.20 m. It is connected to the sea via two tidal passes, Tampachiche Inlet to the north and Corazones Inlet to the south, and receives the discharge of several rivers: Laja, Cucharas, Carbajal, Tancochin, and Tampache (fig. 1). The climate is Aw2, tropical subhumid, with rains in summer (García, 1988). There are three climatic seasons: the dry season from March to May; the rainy season from June to October, characterized by conventional rains; and the winter storm ("Nortes") season from November to

espaciales y temporales de la diversidad, distribución y abundancia de la comunidad de peces; y (3) determinar las especies dominantes y definir los conjuntos de peces de la Laguna de Tamiahua.

Área de estudio

La Laguna de Tamiahua se localiza en la parte occidental del Golfo de México (21°06'–22°05' N, 97°23'–97°46' W). Es la laguna costera más grande del estado de Veracruz, con una superficie de 880 km², y longitud y ancho máximos de 100 y 25 km, respectivamente. Es una laguna somera, con una profundidad media de 2.5 m y una amplitud medio de marea de 0.20 m. Se conecta al mar por medio de Boca Tampachiche, al norte, y Boca Corazones, al sur, y recibe la descarga de varios ríos: Laja, Cucharas, Carbajal, Tancochin y Tampache (fig. 1). El clima es Aw2, tropical subhúmedo, con lluvias en el verano (García, 1988). Se reconocen tres épocas climáticas: época de secas, de marzo a mayo; época de lluvias, de junio a octubre, caracterizada por lluvias convencionales; y época de nortes, de noviembre a febrero (Castillo-Rivera y Kobelkowsky, 1993; De la Lanza *et al.*, 1998). Existen diferentes ambientes acuáticos en el sistema lagunar, incluyendo pantanos de manglar salobre y de baja salinidad, pastos marinos, áreas de alta sedimentación, bancos de ostión y una cuenca central mesohalina a polihalina. En el trabajo de Contreras-Espinosa (1993) se pueden encontrar mayores detalles sobre esta laguna.

Material y métodos

La recolección de peces se llevó a cabo cada dos meses en nueve estaciones de muestreo durante las tres temporadas climáticas del año, en mayo, julio, septiembre y noviembre de 1994, y enero y marzo de 1995 (fig. 1). El necton se recolectó durante el día (07:00 a 15:00), de profundidades entre 0.3 y 2.0 m, utilizando un chinchorro playero de 60 m de largo con una luz de malla de 1.9 cm en el copo y 1.5 m en las alas. Se realizó un muestreo en cada sitio, para un total de 54 capturas. Las muestras fueron fijadas en formaldehído al 10% y luego preservadas en alcohol etílico al 70%. En cada muestreo se midieron la temperatura, la salinidad, el oxígeno disuelto, y la profundidad y transparencia de la columna de agua (tabla 1), como se describe en Díaz-Ruiz *et al.* (2000). En el laboratorio, los peces fueron identificados, contados, pesados y medidos. Se calcularon la diversidad H'n (Shannon y Weaver, 1963), la riqueza de especies D (Margalef, 1969) y la equitabilidad J' (Pielou, 1966), así como la biomasa (g peso húmedo m⁻²), la densidad (ind m⁻²) y el peso promedio de la comunidad (g ind⁻¹) (Díaz-Ruiz *et al.*, 2000). La diversidad, abundancia y peso promedio se compararon entre época del año utilizando los datos totales de cada uno (dos meses por época), mediante un ANOVA con significancia $P < 0.05$ (Daniel, 1997); en presencia de diferencias significativas, se utilizó la prueba de

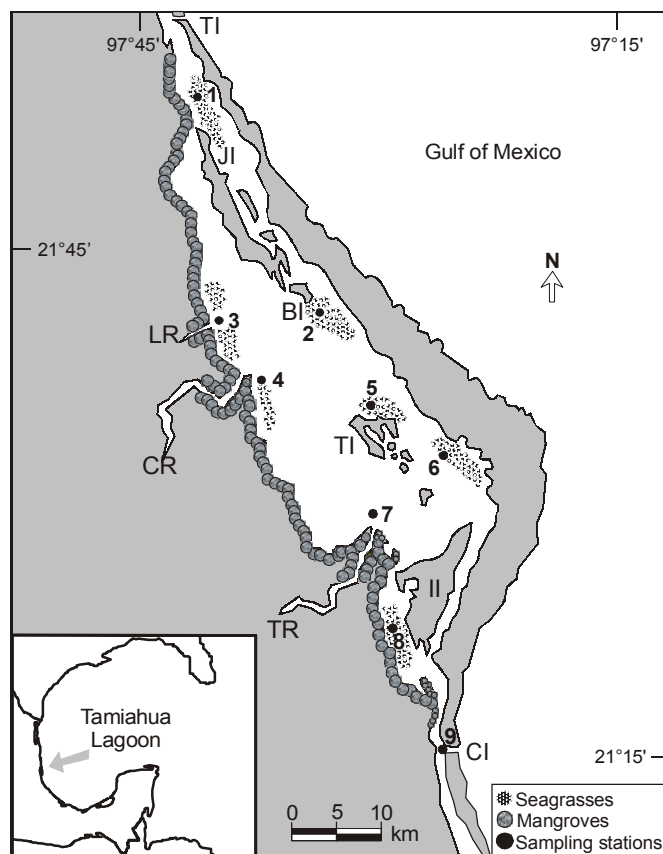


Figure 1. Map showing Tamiahua Lagoon in the Gulf of Mexico. The figure shows the distribution of the sampling stations, the main physiographic characteristics of the area, and the rivers associated with the lagoon: Tampachiche Inlet (TI), Corazones Inlet (CI), Juan Island (JI), Burros Island (BI), Toro Island (TI), Ídolo Island (II), Laja River (LR), Cucharas River (CR), and Tancochin River (TR).

Figura 1. Localización geográfica de la Laguna de Tamiahua en el Golfo de México. La figura muestra la distribución de las estaciones de muestreo, las principales características fisiográficas del área y los ríos asociados con la laguna: Boca de Tampachiche (TI), Boca de Corazones (CI), Isla Juan (JI), Isla Burros (BI), Isla Toro (TI), Isla del Ídolo (II), Río Laja (LR), Río Cucharas (CR) y Río Tancochin (TR).

February (Castillo-Rivera and Kobelkowsky, 1993; De la Lanza *et al.*, 1998). There are a number of different aquatic environments in the lagoon system, including brackish and low salinity mangrove swamps, seagrasses, areas of high sedimentation, oyster reefs, and a mesohaline to polyhaline central basin. More details about this lagoon can be found in the work of Contreras-Espinosa (1993).

Material and methods

Fishes were collected bimonthly at nine sampling stations in May, July, September and November 1994, and January and March 1995, during the three climatic seasons (fig. 1). Nekton were collected during daylight hours (07:00 to 15:00) from depths of 0.3 to 2.0 m, using a 60-m beach seine net with a mesh size of 1.9 cm in the bag and 1.5 cm in the wings. One catch was made at each sampling station, for a total of 54 collections. Samples were fixed in 10% formaldehyde and later preserved in 70% ethanol. Temperature, salinity, dissolved oxygen, and depth and transparency of the water column were measured during each collection (table 1), as described in Díaz-Ruiz *et al.* (2000). In the laboratory, fishes were identified, counted, weighed and measured. Diversity $H'n$ (Shannon and Weaver, 1963), species richness D (Margalef, 1969), and evenness J' (Pielou, 1966) were calculated, as well as biomass ($g\ wet\ weight\ m^{-2}$), density ($ind\ m^{-2}$), and average weight of the community ($g\ ind^{-1}$) (Díaz-Ruiz *et al.*, 2000). The

Tukey (Zar, 1999) para determinar en qué época y entre qué parámetros se presentaron tales diferencias. La determinación de los conjuntos de peces se basó en la interpretación gráfica de la prueba de asociación no paramétrica de Olmstead y Tukey (Stell y Torrie, 1988; Sokal y Rohlf, 1997). Se relacionaron la frecuencia y abundancia de cada especie con el número total de muestreos (54 capturas). Se obtuvo una gráfica con cuatro cuadrantes que correspondieron a los siguientes grupos de especies: (A) en tránsito, (B) residentes, (C) irregulares y (B) raras. La división del eje y se basó en el valor medio de los datos de abundancia numérica media (No. ind/captura), ordenados de forma progresiva y ascendente. La división del eje x (frecuencia) se estableció al nivel de 50% (Ibáñez-Aguirre y Solís-Weiss, 1986; Torres-Orozco y Zanatta (1998). A partir de este nivel, el grado de permanencia de cualquier especie dentro del área de muestreo puede considerarse como especie residente (Deegan y Thompson, 1985; Yáñez-Arancibia *et al.*, 1985).

Resultados

Composición de la ictiofauna

Se analizaron 22,984 individuos con un peso total de 174,368 g. Se identificaron 83 especies de peces de 62 géneros y 32 familias, de los cuales 14 especies, 8 géneros y 3 familias se registraban por primera vez en el área (tabla 2).

Table 1. Spatial and temporal behavior of environmental parameters at Tamiahua Lagoon.
Tabla 1. Comportamiento espacial y temporal de los parámetros ambientales de la Laguna de Tamiahua.

	Sampling stations									Average
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Salinity (psu)										
Dry	26.5	20.7	17.9	17.0	18.6	19.0	25.3	26.2	36.4	23.1
Rainy	20.5	18.7	16.5	16.1	17.7	18.6	16.5	26.5	27.2	19.8
Nortes	20.4	18.6	17.9	17.6	18.4	18.2	17.6	19.7	31.2	20.0
Temperature (°C)										
Dry	27.3	27.9	28.8	30.3	29.0	28.6	29.0	29.9	28.6	28.8
Rainy	29.8	31.3	31.0	31.5	30.2	29.7	30.4	32.5	30.6	30.8
Nortes	24.3	25.0	25.5	26.5	25.5	25.0	26.5	27.8	27.0	25.9
Dissolved oxygen ($mg\ L^{-1}$)										
Dry	6.0	7.1	6.8	7.8	7.5	7.4	5.8	6.0	5.7	6.7
Rainy	4.5	4.8	4.2	3.5	3.9	3.7	5.9	9.0	5.6	5.0
Nortes	5.1	5.5	6.2	6.1	4.2	5.5	5.2	5.3	4.8	5.3
Transparency (%)										
Dry	96.7	38.6	35.7	30.9	22.0	31.0	45.1	60.6	35.6	44.0
Rainy	72.2	44.3	28.1	32.3	36.8	38.1	18.4	82.6	28.1	42.3
Nortes	64.6	26.5	26.4	66.1	32.1	27.1	51.5	34.9	27.9	39.7

Table 2. Order of the fish species collected at Tamiahua Lagoon according to their values of frequency and average numerical abundance (No. ind/capture). The numeration corresponds to figure 4 (Olmstead and Tukey test). The species marked with an asterisk are new records for the study area.

Tabla 2. Orden de las especies de peces recolectadas en la Laguna de Tamiahua de acuerdo a sus valores de frecuencia y abundancia numérica promedio (No. ind/captura). La numeración corresponde a la figura 4 (prueba de Olmstead y Tukey). Las especies marcadas con un asterisco son nuevos registros en el área de estudio.

Species	Freq.	No. ind/cap.	Species	Freq.	No. ind/cap.
1. <i>Oreochromis mossambicus</i> *	1.85	0.02	43. <i>Brevoortia gunteri</i>	1.85	0.54
2. <i>Megalops atlanticus</i>	1.85	0.02	44. <i>Archosargus probatocephalus</i>	18.52	0.57
3. <i>Prionotus tribulus</i> *	1.85	0.02	45. <i>Menticirrhus americanus</i>	31.48	0.76
4. <i>Bathygobius soporator</i>	1.85	0.02	46. <i>Elops saurus</i>	20.37	0.80
5. <i>Lucania parva</i>	1.85	0.02	47. <i>Eugerres plumieri</i>	16.67	0.81
6. <i>Ogcocephalus</i> sp.*	1.85	0.02	48. <i>Poecilia latipunctata</i> *	9.26	0.83
7. <i>Stellifer lanceolatus</i>	1.85	0.02	49. <i>Centropomus undecimalis</i>	11.11	0.83
8. <i>Anchoa hepsetus</i>	1.85	0.02	50. <i>Chloroscombrus chrysurus</i>	3.70	1.11
9. <i>Brevoortia patronus</i>	1.85	0.02	51. <i>Menidia beryllina</i>	31.48	1.17
10. <i>Lutjanus analis</i> *	1.85	0.04	52. <i>Evorthodus lyricus</i>	18.52	1.19
11. <i>Eleotris pisonis</i> *	3.70	0.04	53. <i>Polydactylus octonemus</i>	5.56	1.24
12. <i>Dormitator maculatus</i>	1.85	0.04	54. <i>Strongylura marina</i>	27.78	1.28
13. <i>Tilapia rendalli</i> *	3.70	0.04	55. <i>Syngnathus scovelli</i>	33.33	1.31
14. <i>Gobionellus hastatus</i>	5.56	0.06	56. <i>Conodon nobilis</i>	9.26	1.43
15. <i>Symphurus plagiusa</i> *	3.70	0.06	57. <i>Centegraulis edentulus</i>	25.93	1.59
16. <i>Dorosoma petenense</i>	1.85	0.06	58. <i>Cynoscion arenarius</i>	7.41	1.72
17. <i>Trinectes maculatus</i>	3.70	0.06	59. <i>Harengula jaguana</i>	22.22	1.78
18. <i>Microgobius golosus</i> *	1.85	0.06	60. <i>Lutjanus griseus</i>	16.67	2.19
19. <i>Sphyræna barracuda</i> *	5.56	0.07	61. <i>Syngnathus louisianae</i>	44.44	2.20
20. <i>Gobiomorus dormitory</i>	3.70	0.07	62. <i>Citharichthys spilopterus</i>	29.63	2.24
21. <i>Scianenops ocellata</i>	3.70	0.07	63. <i>Oligoplites saurus</i>	44.44	2.41
22. <i>Bairdiella ronchus</i>	1.85	0.07	64. <i>Cyprinodon variegatus</i>	9.26	3.09
23. <i>Dasyatis sabina</i>	5.56	0.09	65. <i>Diapterus auratus</i>	40.74	3.28
24. <i>Gobionellus boleosoma</i> *	1.85	0.09	66. <i>Fundulus grandis</i>	16.67	3.39
25. <i>Chilomycterus schoepfi</i>	5.56	0.11	67. <i>Cynoscion nebulosus</i>	50.00	3.48
26. <i>Oreochromis aureus</i> *	7.41	0.11	68. <i>Diapterus rhombeus</i>	35.19	3.50
27. <i>Dorosoma cepedianum</i>	3.70	0.15	69. <i>Cathorops melanopus</i>	33.33	4.31
28. <i>Brevoortia</i> sp.	5.56	0.15	70. <i>Orthopristis chrysoptera</i> *	35.19	4.67
29. <i>Pogonias cromis</i>	7.41	0.15	71. <i>Achirus lineatus</i>	53.70	4.74
30. <i>Centropomus parallelus</i>	9.26	0.15	72. <i>Mugil curema</i>	50.00	5.37
31. <i>Selene vomer</i>	5.56	0.17	73. <i>Mugil cephalus</i>	48.15	6.17
32. <i>Leiostomus xanthurus</i>	12.96	0.17	74. <i>Strongylura notata</i>	62.96	6.20
33. <i>Mugil</i> sp.	3.70	0.17	75. <i>Eucinostomus melanopterus</i>	50.00	6.59
34. <i>Caranx hippos</i>	9.26	0.17	76. <i>Ariopsis felis</i>	48.15	8.78
35. <i>Oreochromis</i> sp.	1.85	0.19	77. <i>Eucinostomus gula</i>	29.63	11.22
36. <i>Gobiosoma bosci</i>	11.11	0.19	78. <i>Eucinostomus argenteus</i>	33.33	12.41
37. <i>Chaetodipterus faber</i>	1.85	0.22	79. <i>Lagodon rhomboides</i>	44.44	27.67
38. <i>Anchoa lyolepis</i> *	7.41	0.24	80. <i>Bairdiella chrysoura</i>	64.81	30.76
39. <i>Caranx latus</i>	9.26	0.26	81. <i>Hyporhamphus roberti</i>	66.67	41.20
40. <i>Micropogonias undulatus</i>	9.26	0.28	82. <i>Membras vagrans</i>	61.11	44.15
41. <i>Strongylura timucu</i>	27.78	0.43	83. <i>Anchoa mitchilli</i>	70.37	161.81
42. <i>Opsanus beta</i>	24.07	0.48			

diversity, abundance and mean weight were compared between seasons using the total data of each (two months per season), using ANOVA with significance $P < 0.05$ (Daniel, 1997); in the presence of significant differences, Tukey's test (Zar, 1999) was used to determine in which season and parameters these differences occurred. The determination of fish assemblages was based on the graphical interpretation of the nonparametric association test of Olmstead and Tukey (Stell and Torrie, 1988; Sokal and Rohlf, 1997). Frequency and abundance of each species were related to the total number of sampling events (54 captures). A graph with four quadrants was obtained, each corresponding to one of the following groups of species: (A) transient, (B) resident, (C) irregular, and (D) rare. The partition of the y-axis originates in the median value of the average numerical abundance data (No. ind/capture), ordered in a progressive and upward way. The partition of the x-axis (frequency) settles down at the 50% level (Ibáñez-Aguirre and Solís-Weiss, 1986; Torres-Orozco and Zanatta, 1998). From this level, the degree of permanence of any species inside the sampled area could be considered resident species (Deegan and Thompson, 1985; Yáñez-Arancibia *et al.*, 1985).

Results

Ichthyofaunal composition

We analyzed 22,984 individuals with a total weight of 174,368 g. A total of 83 fish species of 62 genera and 32 families were identified, of which 14 species, 8 genera and 3 families were recorded for the first time in the area (table 2).

Seasonal and spatial variation of diversity

The data of the two months that correspond to each climatic season were added, on the basis that significant differences were not found per month ($P > 0.05$). The highest species diversity value ($H'n = 2.7$) was recorded during the rainy season (July and September) and the lowest ($H'n = 1.9$) during the Nortes season (November and January) (table 3). Spatially, the highest value ($H'n = 2.5$) occurred at station 4 during the rainy season and the lowest ($H'n = 0.8$) at station 1 during the Nortes season (fig. 2). Species richness behaved in a similar manner to diversity, with the highest value ($D = 7.1$) during the rainy season and the lowest ($D = 6.3$) during the Nortes season. Spatially, the highest and lowest values occurred at stations 8 ($D = 5.3$) and 2 ($D = 2.0$), respectively, both during the Nortes season. Evenness presented a similar variation to that of $H'n$ and D , with the highest value ($J' = 0.65$) during the rainy season and the lowest ($J' = 0.5$) during the Nortes. Spatially, the highest value ($J' = 0.8$) was measured at station 4 during the dry season (March and May) and the lowest ($J' = 0.2$) at station 1 during the Nortes (table 3, fig. 2). According to the statistical analysis, significant differences were found for diversity. The Tukey test showed that the differences were between the rainy and Nortes seasons ($P < 0.0359$); however,

Variación temporal y espacial de la diversidad

Se sumaron los datos de los dos meses que correspondían a cada temporada, ya que no se encontraron diferencias mensuales significativas ($P > 0.05$). El valor más alto de diversidad de especies ($H'n = 2.7$) se registró en la época de lluvias (julio y septiembre) y el más bajo ($H'n = 1.9$) en la de nortes (noviembre y enero) (tabla 3). Espacialmente, el valor más alto ($H'n = 2.5$) se obtuvo en la estación 4 durante las lluvias y el más bajo ($H'n = 0.8$) en la estación 1 durante los nortes (fig. 2). La riqueza de especies presentó un comportamiento similar al de la diversidad, registrándose el valor más alto ($D = 7.1$) durante la época de lluvias y el más bajo ($D = 6.3$) durante la de nortes. Espacialmente, los valores máximo y mínimo se registraron en las estaciones 8 ($D = 5.3$) y 2 ($D = 2.0$), respectivamente, ambos durante la época de nortes. La equitabilidad presentó una variación similar a la de $H'n$ y D , con un valor mayor ($J' = 0.65$) durante las lluvias y menor ($J' = 0.5$) durante los nortes. Espacialmente, el valor más alto ($J' = 0.8$) se registró en la estación 4 en la época de secas (marzo y mayo) y el más bajo ($J' = 0.2$) en la estación 1 durante la época de nortes (tabla 3, fig. 2). Según el análisis estadístico, se encontraron diferencias significativas para la diversidad. La prueba de Tukey mostró que estas diferencias fueron entre las épocas de

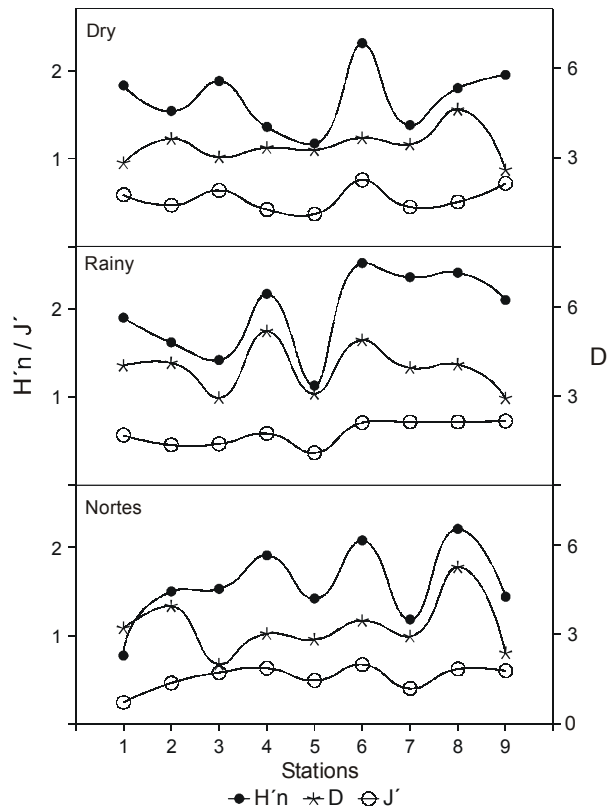


Figure 2. Seasonal and spatial variation of diversity in the fish community. Shannon and Weaver index ($H'n$), richness (D) and evenness (J').
Figura 2. Variación temporal y espacial de la diversidad de la comunidad de peces. Índice de Shannon y Weaver ($H'n$), riqueza (D) y equitabilidad (J').

no significant differences were found between the seasons for richness and evenness ($P > 0.1410$).

Seasonal and spatial variation of abundance

The highest number of fishes, 9337 (40.6%), was captured during the rainy season, while 7734 individuals (33.6%) were caught during the dry season and 5913 (25.7%) during the Nortes season. The total biomass taken was 174,369 g, of which 94,894 g (54.4%) were obtained in the rainy season, and 42,975 g (24.6%) and 36,500 g (20.9%) in the dry and Nortes seasons, respectively. Biomass per unit area was higher in the rainy season, with 59.3 g m⁻², and lower during the Nortes, with 22.8 g m⁻². The highest value, 12.5 g m⁻², occurred at station 6 during the rainy season and the lowest, 0.30 g m⁻², at station 9 during the Nortes. According to ANOVA, significant differences were found for the biomass. The Tukey test showed that the differences were between the dry and rainy seasons, and between the rainy and Nortes seasons ($P < 0.00113$). Density showed a similar pattern, with the highest value, 5.84 ind m⁻², during the rainy season and the lowest, 3.7 ind m⁻², during the Nortes. The highest density, 1.5 ind m⁻², was recorded at station 2 in the rainy season and the lowest, 0.14 ind m⁻², at station 9 in the dry season (table 3, fig. 3). The average weight per fish showed a similar pattern to biomass and inverse to that of density. The highest average weight per fish, 10.2 g ind⁻¹, occurred in the rainy season, and the lowest value, 5.6 g ind⁻¹, in the dry season. Spatially, station 4 had the highest average weight, 18 g ind⁻¹, and station 8 the lowest one, 2.6 g ind⁻¹, both during the dry season (table 3, fig. 3). The

Table 3. Ecological parameters determined during different climatic seasons for the ichthyofauna from Tamiahua Lagoon: number of species (No. sp.), total individuals (No. ind.), diversity (H'n), species richness (D), evenness (J'), density (ind m⁻²), biomass (g m⁻²), and average weight (g ind⁻¹).

Tabla 3. Parámetros ecológicos determinados durante diferentes épocas climáticas para la ictiofauna de la Laguna de Tamiahua: número de especies (No. sp.), total de individuos (No. ind.), diversidad (H'n), riqueza de especies (D), equitabilidad (J'), densidad (ind m⁻²), biomasa (g m⁻²) y peso promedio (g ind⁻¹).

	Dry	Rainy	Nortes
No. sp.	60	66	56
No. ind.	7734	9337	5913
Weight (g)	442975.0	94894.1	36499.9
H'n	2.28	2.71	1.93
D	6.59	7.11	6.33
J'	0.56	0.65	0.48
Ind m ⁻²	4.83	5.84	3.70
g m ⁻²	26.88	59.31	22.81
g ind ⁻¹	5.56	10.16	6.17

lluvias y de nortes ($P < 0.0359$); sin embargo, no se encontraron diferencias significativas de riqueza y equitabilidad ($P > 0.1410$) entre épocas del año.

Variación temporal y espacial de abundancia

El mayor número de peces, 9337 (40.6%), se capturó en la época de lluvias, mientras que 7734 individuos (33.6%) fueron capturados en la de secas y 5913 (25.7%) en la de nortes. Se obtuvo una biomasa total de 174,369 g, de los cuales 94,894 g (54.4%) se recolectaron en la época de lluvias, 42,975 g (24.6%) en la de secas y 36,500 g (20.9%) en la de nortes. La biomasa por unidad de área fue mayor en la época de lluvias, con 59.3 g m⁻², y menor en la de nortes, con 22.8 g m⁻². El valor más alto, 12.5 g m⁻², se registró en la estación 6 durante las lluvias y el más bajo, 0.30 g m⁻², en la estación 9 durante los nortes. De acuerdo con el ANOVA, se encontraron diferencias significativas en la biomasa. La prueba de Tukey mostró que las diferencias fueron entre las épocas de secas y de lluvias, y entre las de lluvias y nortes ($P < 0.00113$). La densidad presentó un patrón similar, registrándose el valor más alto, 5.84 ind m⁻², durante la época de lluvias, y el más bajo, 3.7 ind m⁻², durante la de nortes. La mayor densidad, 1.5 ind m⁻², se registró en la estación 2 durante la época de lluvias, y la menor, 0.14 ind m⁻², en la estación 9 durante la de secas (tabla 3, fig. 3). El peso promedio por individuo presentó un patrón similar al de la biomasa e inverso al de la densidad. El mayor peso promedio por individuo, 10.2 g ind⁻¹, se registró en la época de lluvias y el menor, 5.6 g ind⁻¹, en la de secas. Espacialmente, la estación 4 tuvo el peso promedio más alto, 18 g ind⁻¹, y la estación 8 el más bajo, 2.6 g ind⁻¹, ambos durante la época de secas (tabla 3, fig. 3). El análisis estadístico no presentó diferencias significativas en densidad y peso promedio ($P > 0.2981$) entre épocas.

Conjuntos de peces

En la figura 4 se muestra la distribución anual de los componentes comunitarios utilizando los cuadrantes de la clasificación de Olmstead y Tukey, y en la tabla 2 se presentan las especies con su número correspondiente en la figura. Con base en este análisis, se obtuvieron 9 especies residentes (cuadrante B), 33 especies en tránsito (cuadrante A), 41 especies irregulares (cuadrante C) y ninguna especie rara (cuadrante D). Las especies residentes, en orden de importancia, fueron *Anchoa mitchilli* (Valenciennes, 1848), *Membras vagrans* (Goode y Bean, 1879), *Hyporhamphus roberti* (Cuvier, 1846), *Bairdiella chrysoura* (Lacepède, 1832), *Eucinostomus melanopterus* (Bleeker, 1863), *Strongylura notata* (Poey, 1860), *Mugil curema* Valenciennes (1836), *Achirus lineatus* (Linnaeus, 1758) y *Cynoscion nebulosus* (Cuvier, 1830). También se presentan en la tabla 4 los valores promedio de varios parámetros de abundancia con respecto al número de muestreos realizados, para cada componente comunitario.

statistical analysis did not show any significant differences among seasons for density and average weight ($P > 0.2981$).

Fish assemblages

Figure 4 shows the annual distribution of the community inhabitants using the Olmstead and Tukey classification quadrants, and table 2 lists the species with their corresponding number in that figure. Based on this analysis, there were 9 resident species (quadrant B), 33 seasonal transients (quadrant A), 41 irregular visitors (quadrant C), and no rare species (quadrant D). The resident species were, in order of importance, *Anchoa mitchilli* (Valenciennes, 1848), *Membras vagrans* (Goode and Bean, 1879), *Hyporhamphus roberti* (Cuvier, 1846), *Bairdiella chrysoura* (Lacepède, 1832), *Eucinostomus melanopterus* (Bleeker, 1863), *Strongylura notata* (Poey, 1860), *Mugil curema* Valenciennes (1836), *Achirus lineatus* (Linnaeus, 1758), and *Cynoscion nebulosus* (Cuvier, 1830). Table 4 also shows the average values of several parameters of abundance relative to the number of captures made, for each of the groups obtained with the above classification.

Discussion

In this study, 83 species were identified, of which 14 were new records for the study area. The total number of species reported for Tamiahua Lagoon by other authors plus those identified in this study is 136, which represents 42.76% of the 318 species reported by Reséndez and Kobelkowsky (1991) for 13 lagoon systems of the Gulf of Mexico. For the study area, the works of Reséndez and Kobelkowsky (1991) and Franco-López and Chávez-López (1992) reported a combined list of 122 species. Based on the results for Tamiahua Lagoon, as well as elsewhere in the southern Gulf of Mexico, we believe that further effort in this lagoon would result in the capture of additional species, in terms of additional habitat type studied. These understudied areas include submerged vegetation patches, the intertidal margins of mangrove forests of the lagoon basin, and swamp zones and flood plains with fresh-water influence. In this respect, Miller (1986) considers that the basins of the Pánuco and Tuxpam rivers and their tributaries (that bound the study area) are important centers of dispersion and endemism for the freshwater fish fauna. Many of these species have the capability to inhabit brackish waters and invade lagoon areas. Also, it is probable that species of marine affinity found in other lagoon systems of the southern gulf also inhabit Tamiahua Lagoon. We assume this because the Tampico-Cabo Rojo-Tuxpam coastal area (covering the entire Tamiahua basin) is regarded as a zoogeographic transition zone of fish communities of the Carolinian (to the north, with temperate-warm components) and the Caribbean (to the south, with subtropical-tropical components) marine provinces (Castro-Aguirre *et al.*, 1986). Tamiahua has the third highest number of fish species of the Mexican coast of the Gulf of Mexico, after Términos Lagoon, with 216 species

Discusión

En este trabajo se identificaron 83 especies, de las cuales 14 fueron registros nuevos para el área. El número total de especies registrado por otros autores para la Laguna de Tamiahua más las identificadas en el presente estudio asciende a 136, lo que representa 42.76% de las 318 especies documentadas por Reséndez y Kobelkowsky (1991) en 13 sistemas lagunares del Golfo de México. Para la Laguna de Tamiahua, los trabajos de Reséndez y Kobelkowsky (1991) y Franco-López y Chávez-López (1992) en conjunto mencionan 122 especies. Con base en los resultados para esta laguna, así como para otros lugares del sur del Golfo de México, se considera que un esfuerzo adicional en esta laguna resultaría en la captura de otras especies, en función de otros tipos de hábitat. Los ambientes que han sido subestudiados incluyen las áreas de vegetación sumergida, las zonas intermareales de los manglares de la cuenca central, y las zonas pantanosas y planicies intermareales influenciadas por aportes de agua dulce. Al respecto, Miller (1986) considera que las cuencas de los ríos Pánuco y Tuxpam y sus afluentes (contiguos al área de estudio) son importantes centros de

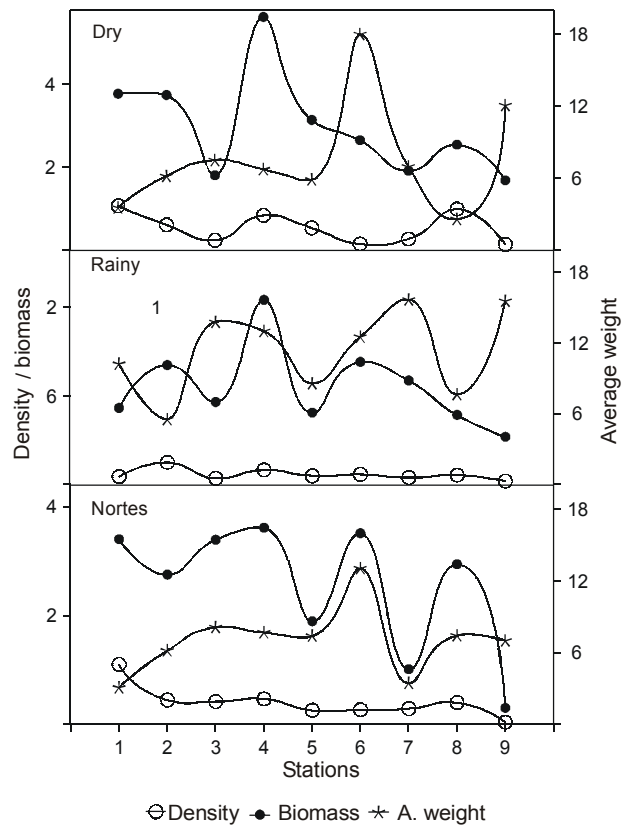


Figure 3. Seasonal and spatial variation of abundance in the fish community. Biomass ($g\ m^{-2}$), density ($ind\ m^{-2}$) and average weight ($g\ ind^{-1}$). **Figura 3.** Variación temporal y espacial de la abundancia de la comunidad de peces. Biomasa ($g\ m^{-2}$), densidad ($ind\ m^{-2}$) y peso promedio ($g\ ind^{-1}$).

Table 4. Average frequency and abundance values for each of the community inhabitants, obtained with the Olmstead and Tukey classification applied to 83 species recorded at Tamiahua Lagoon.

Tabla 4. Valores promedio de frecuencia y abundancia para cada uno de los componentes comunitarios, obtenidos con la clasificación de Olmstead y Tukey aplicada a 83 especies registradas en la Laguna de Tamiahua.

Clusters	A. Transient	B. Resident	C. Irregular
No. spp.	33	9	41
Frequency	25.084	58.848	5.014
No. ind/capture	3.544	33.813	0.106
Weight/capture	43.316	179.049	4.590
Weight/ind/capture	0.268	0.196	0.763

(Reséndez and Kobelkowsky, 1991; Yáñez-Arancibia *et al.*, 1988), and Tuxpam-Tampamachoco, with 179 species (Pérez-Hernández and Torres-Orozco, 2000).

Spatio-temporal variation in diversity and abundance

The lowest values for diversity and abundance were recorded during the Nortes season, with 56 species (table 3). During this time of the year, the different habitats of the system are used by a great number of species, including areas of seagrasses and mangrove systems, the inlets and adjacent continental shelf. Few abundant species were recorded during this time of the year. The average weight per individual of the

dispersión y endemismo de peces de agua dulce. Varias de estas especies son capaces de sobrevivir en aguas salobres e invadir zonas de la laguna. Asimismo, es probable que especies de afinidad marina de otros sistemas lagunares del sur del golfo también se encuentren en la Laguna de Tamiahua, ya que la zona costera de Tampico-Cabo Rojo-Tuxpam (alrededor de toda la cuenca de Tamiahua) se considera una zona zoogeográfica de transición de comunidades de peces de las provincias Carolineana (al norte, con componentes cálido-templados) y del Caribe (al sur, con componentes tropical-subtropicales) (Castro-Aguirre *et al.*, 1986). Con respecto a los sistemas de la costa mexicana del Golfo de México, Tamiahua ocupa el tercer lugar en cuanto a número de especies de peces, después de la Laguna de Términos con 216 especies (Reséndez y Kobelkowsky, 1991; Yáñez-Arancibia *et al.*, 1988), y Tuxpam-Tampamachoco con 179 especies (Pérez-Hernández y Torres-Orozco, 2000).

Variación espacio-temporal de diversidad y abundancia

Los valores más bajos de diversidad y abundancia se registraron durante la época de nortes, con 56 especies (tabla 3). En esta época del año, un gran número de especies utilizan los diversos hábitats del sistema, incluyendo las zonas de pastos marinos y manglares, las bocas y la plataforma continental adyacente. Se registraron pocas especies abundantes en esta época. El peso promedio por individuo de las poblaciones también fue bajo (6.2 g ind⁻¹) debido a la disminución en

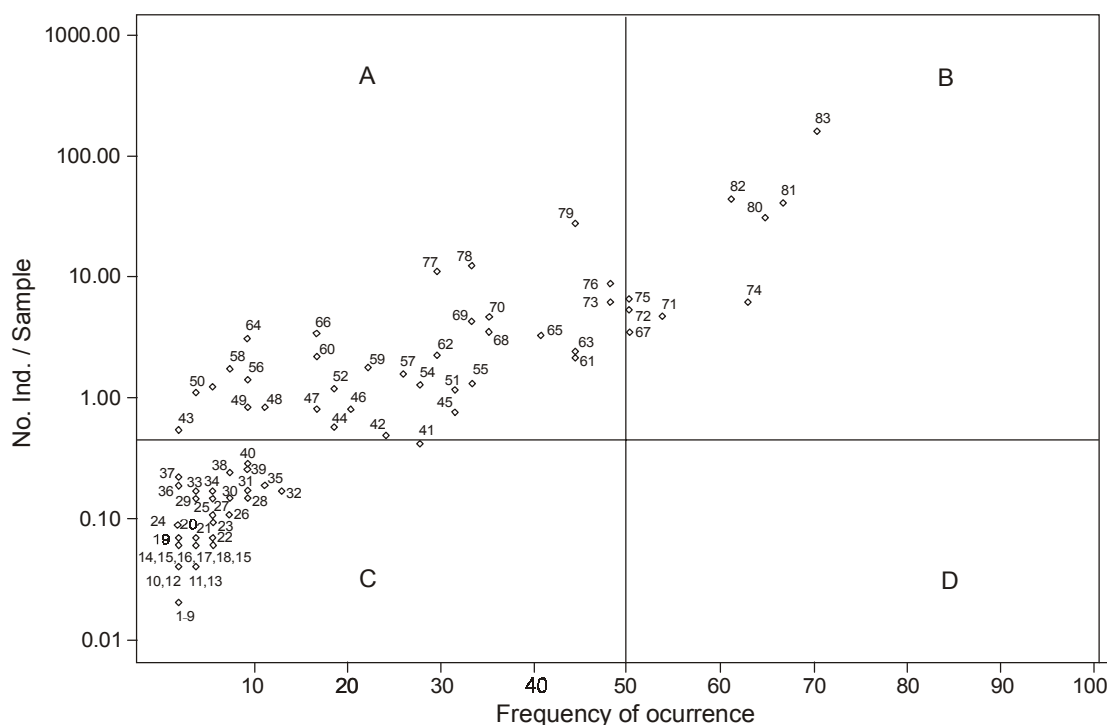


Figure 4. Graphic analysis of the nonparametric association test of Olmstead and Tukey. The figure shows the classification of the four groups of community inhabitants: transient (quadrant A), resident (quadrant B), irregular (quadrant C), and rare species (quadrant D).

Figura 4. Análisis gráfico de la prueba de asociación no paramétrica de Olmstead y Tukey. Se muestran los cuatro grupos de componentes comunitarios: especies en tránsito (cuadrante A), residentes (cuadrante B), irregulares (cuadrante C) y raras (cuadrante D).

populations was also small (6.2 g ind^{-1}) due to the decrease in numerical abundance during the Nortes season. The most abundant and frequent species during this season were *Anchoa mitchilli*, *Ariopsis felis* (Linnaeus, 1766), *Baridiella chryssoura*, *Eucinostomus argenteus* (Baird and Girard, 1855), *Hyporhamphus roberti*, and *Membras vagrans*. The behavior of these species has been observed in other tropical ecosystems by Díaz-Ruiz *et al.* (1982), Chavance *et al.* (1984), Aguirre-León and Yáñez-Arancibia (1986), Yáñez-Arancibia and Lara-Domínguez (1988), and Aguirre-León and Díaz-Ruiz (2000). Other species use the lagoon as a temporary feeding and protection area, such as *Archosargus probatocephalus* (Walbaum, 1792), *Diapterus auratus*, *Harengula jaguana* (Linnaeus, 1758), *Lutjanus griseus* (Günther, 1870), and *Opsanus beta* (Goode and Bean, 1882). The species *Anchoa lyolepis* (Evermann and March, 1902), *Baridiella chryssoura*, *Eucinostomus gula* (Quoy and Gaimard, 1824), *Eugerres plumieri* (Cuvier, 1830), *Diapterus rhombeus* (Cuvier, 1829), and *Orthopristis chrysoptera* (Linnaeus, 1766) use the system as an area of protection and/or maturation.

An increase in diversity and abundance (table 3) was observed during the rainy season, and bigger fish were recorded in the seagrass areas. This shows that the study area is used by many fish species that take advantage of the predominant environmental conditions at this time of the year, such as lower salinity, higher turbidity and increased primary production resulting from high river discharge in adjacent estuarine systems (Contreras-Espinosa, 1993). Similar processes have been observed in other coastal systems of the Gulf of Mexico (Deegan *et al.*, 1986; Yáñez-Arancibia *et al.*, 1988; Aguirre-León *et al.*, 1998), such as Términos Lagoon, where the highest biomass, number of species and abundance of juveniles occur at the end of the rainy season. During the rainy season, mean weight (10.2 g ind^{-1}) increased in our study area due to the increase in the weight of the species, some of which spend all or great part of their life cycle in the estuarine-lagoonal area, like *A. mitchilli*, *B. chryssoura*, *E. gula*, *H. roberti*, *M. vagrans* and *Mugil cephalus* (Linnaeus, 1758). In addition, there was a significant increase in total fish biomass because a number of large marine or estuarine species used the lagoon for feeding and/or reproduction, such as *Cathorops melanopus* (Günther, 1864) (42.3 g ind^{-1}), *Lagodon rhomboides* (Linnaeus, 1766) (35.6 g ind^{-1}), *Mugil curema* (29.0 g ind^{-1}), *Orthopristis chrysoptera* (30.2 g ind^{-1}), and *Strongylura notata* (21.7 g ind^{-1}).

During the dry season, there were intermediate values of diversity and abundance (table 3), and salinity and transparency were high (table 1). Many juveniles and pre-adults (50–170 mm TL) migrate from the sea to the lagoon and use the area to feed and grow. This is evident because of the larger number of species with low average individual weight (5.6 g ind^{-1}) and abundance of small individuals, such as *A. mitchilli* and *L. rhomboides*. This behavior is mainly related to the environmental heterogeneity of the lagoon and to patterns of nekton migration for reproductive or feeding purposes (Huh

abundancia numérica durante los nortes. Las especies más abundantes y frecuentes durante esta época fueron *Anchoa mitchilli*, *Ariopsis felis* (Linnaeus, 1766), *Baridiella chryssoura*, *Eucinostomus argenteus* (Baird y Girard, 1855), *Hyporhamphus roberti* y *Membras vagrans*. El comportamiento de estas especies ha sido estudiado en otros ecosistemas topicales por Díaz-Ruiz *et al.* (1982), Chavance *et al.* (1984), Aguirre-León y Yáñez-Arancibia (1986), Yáñez-Arancibia y Lara-Domínguez (1988), y Aguirre-León y Díaz-Ruiz (2000). Otras especies utilizan la laguna de forma temporal como área de protección y alimentación, como *Archosargus probatocephalus* (Walbaum, 1792), *Diapterus auratus*, *Harengula jaguana* (Linnaeus, 1758), *Lutjanus griseus* (Günther, 1870) y *Opsanus beta* (Goode y Bean, 1882). Las especies *Anchoa lyolepis* (Evermann y March, 1902), *Baridiella chryssoura*, *Eucinostomus gula* (Quoy y Gaimard, 1824), *Eugerres plumieri* (Cuvier, 1830), *Diapterus rhombeus* (Cuvier, 1829) y *Orthopristis chrysoptera* (Linnaeus, 1766) usan el sistema como área de protección y/o maduración.

Se observó un aumento en la diversidad y abundancia (tabla 3) durante la época de lluvias, registrándose peces de mayor talla en las zonas de pastos marinos. Esto demuestra que la laguna es utilizada por muchas especies de peces que aprovechan las condiciones ambientales predominantes durante esta temporada del año, esto es, menor salinidad y mayor turbidez y producción primaria debidas a las importantes descargas de ríos en los sistemas estuarinos adyacentes (Contreras-Espinosa, 1993). Se han observado procesos similares en otros sistemas costeros del Golfo de México (Deegan *et al.*, 1986; Yáñez-Arancibia *et al.*, 1988; Aguirre-León *et al.*, 1998), como en la Laguna de Términos, donde se registran mayores biomasa, número de especies y abundancia de juveniles al final de la época de lluvias. Durante esta temporada, en nuestra zona de estudio se observó un aumento en el peso promedio (10.2 g ind^{-1}) debido al incremento en el peso de las especies, algunas de las cuales pasan todo o parte de su ciclo de vida en este sistema lagunar-estuarino, como *A. mitchilli*, *B. chryssoura*, *E. gula*, *H. roberti*, *M. vagrans* y *Mugil cephalus* (Linnaeus, 1758). Además, la biomasa total de peces se incrementó significativamente, ya que varias especies marinas o estuarinas de talla grande utilizan la laguna como área de alimentación y/o reproducción, como es el caso de *Cathorops melanopus* (Günther, 1864) (42.3 g ind^{-1}), *Lagodon rhomboides* (Linnaeus, 1766) (35.6 g ind^{-1}), *Mugil curema* (29.0 g ind^{-1}), *Orthopristis chrysoptera* (30.2 g ind^{-1}) y *Strongylura notata* (21.7 g ind^{-1}).

Durante le época de secas se registraron valores intermedios de diversidad y abundancia (tabla 3), así como una alta salinidad y transparencia (tabla 1). Muchos juveniles y pre-adultos (50–170 mm LT) se desplazan del mar a la laguna donde se alimentan y crecen. Esto se evidencia por un mayor número de especies con peso individual medio bajo (5.6 g ind^{-1}) y abundancia de individuos pequeños, como *A. mitchilli* y *L. rhomboides*. Este comportamiento está principalmente asociado con la heterogeneidad ambiental de la laguna y

and Kitting, 1985; Franco-López and Chávez-López, 1992). These strategies are closely related to the optimum use of the resources of the ecosystem and are reflected in the seasonal changes of diversity and abundance of the fish fauna, such as *C. melanopus*, *E. gula*, *M. curema* and *O. chrysoptera* (Hook, 1991; Díaz-Ruiz *et al.*, 2000). In other coastal systems of the Gulf of Mexico, the relationship between the environmental behavior of the system and the life cycle of the species has been studied, which has been reflected in the variations of diversity and abundance of the fish community (Díaz-Ruiz *et al.*, 1982; Aguirre-Léon and Yáñez-Arancibia, 1986; Yáñez-Arancibia and Lara-Domínguez, 1988). Based on this, we conclude that this lagoon functions as an area of feeding, growth, reproduction, and/or protection for numerous species of fish.

Fish assemblages

The average values of the abundance parameters obtained for each group from the Olmstead and Tukey test indicate that the fish community was dominated by a few species, each with a great number of small-sized individuals. Thus, 11% of the species in the fish communities of the study area were residents (all dominant) and 89% were transients and irregulars. We therefore conclude that Tamiahua Lagoon is used mainly as a nursery area by a few species, and as area of refuge or temporary feeding by an intermediate number of species. The presence of a great number of irregular visitors, of low abundance and frequency but with higher weight per species, shows that many adult fish use the area in an irregular manner. The presence of few resident species, an intermediate number of transient visitors and many irregular visitors, has been described and discussed as characteristic of estuarine and lagoonal zones, where spatial and temporal habitat heterogeneity generates environmental changes to which only a small number of species are well adapted (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1985). These species develop abundant populations as a function of their high survival and fecundity (Huh and Kitting, 1985; Yáñez-Arancibia *et al.*, 1993). Based on the adaptations of the species, the nine dominant species determined for this lagoon system can be grouped into different fish community types: *A. mitchilli*, *B. chrysoura*, *M. curema*, *A. lineatus*, and *E. melanopterus* behave as temporary estuarine inhabitants; *M. vagrans*, *C. nebulosus*, and *S. notata* are eury-haline marine species; and *H. roberti* is a marine stenohaline organism. Despite these differences, a common characteristic to all of them was that most of the population was represented by juvenile stages (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1985; Aguirre-León and Yáñez-Arancibia, 1986; Ayala-Pérez *et al.*, 1995).

Most of the sampling stations (1, 2, 3, 6, 8) were located in the shallow margins of the lagoon (mean depth of about 0.80 m), where the submerged aquatic vegetation is dominated by *Halodule wrightii* Aschers (1868) and *Ruppia maritima* Linneo (1753). Because of the numerical abundance, the frequency of the dominant species and the preponderance of juvenile individuals, it is likely that the vegetated areas of the

los patrones de migración del necton para propósitos de reproducción y alimentación (Huh y Kitting, 1985; Franco-López y Chávez-López, 1992). Estas estrategias están estrechamente relacionadas con el uso óptimo de los recursos del ecosistema y se reflejan en los cambios estacionales de diversidad y abundancia de la ictiofauna, como *C. melanopus*, *E. gula*, *M. curema* y *O. chrysoptera* (Hook, 1991; Díaz-Ruiz *et al.*, 2000). En otros sistemas costeros del Golfo de México se han estudiado las relaciones entre los ciclos de vida de las especies y el comportamiento ambiental del sistema, que se reflejan en las variaciones de diversidad y abundancia de la comunidad de peces (Díaz-Ruiz *et al.*, 1982; Aguirre-Léon y Yáñez-Arancibia, 1986; Yáñez-Arancibia y Lara-Domínguez, 1988). Por tanto, se concluye que la Laguna de Tamiahua es un área de alimentación, crecimiento, reproducción y/o protección para un gran número de especies de peces.

Conjuntos de peces

Los valores promedio de los parámetros de abundancia obtenidos para cada grupo de la prueba de Olmstead y Tukey indican que la comunidad de peces estuvo dominada por unas cuantas especies, cada una con numerosos individuos de talla pequeña. Así, 11% de las especies de las comunidades de peces en el área de estudio fueron residentes y 89% fueron temporales e irregulares. Por tanto, se concluye que la Laguna de Tamiahua es utilizada principalmente como área de crianza por unas cuantas especies, y como área de protección o alimentación temporal por un número intermedio de especies. La presencia de un gran número de visitantes irregulares, de abundancia y frecuencia muy baja pero con mayor peso por especie, indica que muchos peces adultos usan el área de forma irregular. La presencia de pocas especies residentes, un número intermedio de especies en tránsito y muchas especies irregulares ha sido descrita y discutida como característica de zonas lagunares y estuarinas, donde la heterogeneidad espacial y temporal del hábitat genera cambios ambientales a los cuales sólo unas cuantas especies se encuentran adaptadas (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1985). Estas especies desarrollan poblaciones abundantes en función de su supervivencia y fecundidad (Huh y Kitting, 1985; Yáñez-Arancibia *et al.*, 1993). Con base en las adaptaciones de las especies, las 9 especies dominantes determinadas para esta laguna se pueden agrupar en diferentes tipos de conjuntos de peces: *A. mitchilli*, *B. chrysoura*, *M. curema*, *A. lineatus* y *E. melanopterus* son habitantes estuarinos temporales; *M. vagrans*, *C. nebulosus* y *S. notata* son especies eurihalinas; y *H. roberti* es un organismo estenohalino marino. A pesar de estas diferencias, una característica en común de todas fue que la mayor parte de la población estuvo representada por estadios juveniles (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1985; Aguirre-León y Yáñez-Arancibia, 1986; Ayala-Pérez *et al.*, 1995).

La mayoría de las estaciones de muestreo (1, 2, 3, 6, 8) se localizaron en los márgenes someros de la laguna (profundidad media de aproximadamente 0.80 m), donde la vegetación

lagoon are crucial for the continuous recruitment of early life stages of the populations. This is particularly true for those species with an estuarine-dependent phase, as is the case of *C. nebulosus*, *M. curema* and *S. notata* (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1988). Several authors have shown that vegetated areas are important habitats for estuarine nekton populations, with specific areas associated with characteristic fish associations (Orth *et al.*, 1984; Livingston, 1985; Lubbers *et al.*, 1990). Vegetated areas have high food availability and support benthic populations which also serve as food for nekton. Finally, the vegetation provides juveniles with protection from predators. Characteristic fish communities have been described for several lagoon systems of the Gulf of Mexico and South Atlantic coast of North America (Ross and Epperly, 1985; Rozas and Odum, 1988; Yáñez-Arancibia *et al.*, 1993), and the majority of the dominant species identified for Tamiahua Lagoon are also important in the fish associations of these coastal systems. Most of the nekton species in these systems have typical estuarine-dependent life cycles, with seasonal migrations coinciding with periods of high productivity and food availability (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1985, 1993). This temporal variability is also reflected in the diversity, abundance and biomass of the fish associations in Tamiahua Lagoon. Other ecological studies on the spatial and temporal patterns of the structure of fish communities in the southern Gulf of Mexico have demonstrated that important fishery species are determined, in terms of abundance, biomass and frequency, by the physical and structural features of these systems. These features include areas with submerged vegetation, the presence of extensive mangrove forests, climatic-meteorological conditions, fluvial discharge, hydrology, and tide range (Deegan *et al.*, 1986; Hook, 1991; Aguirre-León *et al.*, 1998).

Acknowledgements

We thank the Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa for institutional and financial support of this research. This study is part of the project Evaluación Geoquímica Ambiental y Diagnóstico de la Zona Costera de Veracruz: Lagunas de Tamiahua, Pueblo Viejo y Tampamachoco, sponsored by CONACYT-3232-T9308/UAMI. We acknowledge the help of Oswaldo Pérez-Solís and Enrique Cano-Quiroga in processing some of the fish samples. We also thank John W. Day Jr. for his critical review of an early version of the manuscript, and the anonymous reviewers for their comments and suggestions.

References

- Aguirre-León, A. y Yáñez-Arancibia, A. (1986). Las mojarra de la Laguna de Términos: Taxonomía, biología, ecología y dinámica trófica (Pisces: Gerreidae). *An. Inst. Cienc. Mar Limnol. Univ. Nac. Autón. Méx.*, 13(1): 369–444.
- Aguirre-León, A. and Díaz-Ruiz, S. (2000). Population structure, gonadal maturity and feeding habits of *Eugerres plumieri* (Gerreidae) in the Pom-Atasta fluvial-deltaic system, Mexico. *Cienc. Mar.*, 26(2): 253–273.

acuática sumergida está compuesta por *Halodule wrightii* Aschers (1868) y *Ruppia maritima* Linneo (1753). A causa de la abundancia numérica, la frecuencia de las especies dominantes y la preponderancia de individuos juveniles, es probable que las zonas con pastos marinos de la laguna sean de suma importancia para el reclutamiento continuo de los estadios tempranos de las poblaciones. Esto es particularmente válido para las especies con una etapa estuarina, como es el caso de *C. nebulosus*, *M. curema* y *S. notata* (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1988). Varios autores han demostrado que áreas con vegetación son hábitats importantes para poblaciones estuarinas de nekton, con zonas específicas asociadas con conjuntos característicos de peces (Orth *et al.*, 1984; Livingston, 1985; Lubbers *et al.*, 1990). Las áreas con vegetación tienen una gran disponibilidad de alimento y mantienen poblaciones bénticas que, a su vez, son comida para el nekton. Finalmente, la vegetación protege de los depredadores a los juveniles. Se han descrito comunidades características de peces para varios sistemas lagunares del Golfo de México y la costa Sudatlántica de Norte América (Ross y Epperly, 1985; Rozas y Odum, 1988; Yáñez-Arancibia *et al.*, 1993), y muchas de las especies dominantes en la Laguna de Tamiahua también constituyen importantes asociaciones de peces en estos sitios. La mayoría de las especies de nekton en estos sistemas tienen ciclos de vida típicamente estuarinos, con migraciones estacionales que coinciden con periodos de alta productividad y disponibilidad de alimento (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1985, 1993). Esta variabilidad temporal también se refleja en la diversidad, abundancia y biomasa de los conjuntos de peces en la Laguna de Tamiahua. Otros estudios ecológicos relacionados con los patrones espaciales y temporales de la estructura de comunidades de peces en la parte sur del Golfo de México, han demostrado que, en términos de abundancia, biomasa y frecuencia, las especies pesqueras importantes se determinan por las características físicas y estructurales de estos sistemas. Estas características incluyen áreas de vegetación sumergida, presencia de manglares, condiciones climáticas meteorológicas, descarga fluvial, hidrología y amplitud de marea (Deegan *et al.*, 1986; Hook, 1991; Aguirre-León *et al.*, 1998).

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa su apoyo institucional y financiero. Este trabajo forma parte del proyecto Evaluación Geoquímica Ambiental y Diagnóstico de la Zona Costera de Veracruz: Lagunas de Tamiahua, Pueblo Viejo y Tampamachoco, apoyado por CONACYT-3232-T9308/UAMI. Agradecemos a Oswaldo Pérez-Solís y Enrique Cano-Quiroga su ayuda en el procesamiento de algunas de las muestras, así como a John W. Day Jr. su revisión crítica de una versión preliminar del trabajo, y a los revisores anónimos sus comentarios y sugerencias.

Traducido al español por Christine Harris.

- Aguirre-León, A., Díaz-Ruiz, S. y Bernal-Becerra, A. (1998). Ecología de peces en sistemas fluvio-deltaicos: Estudio para el sistema Pom-Atasta en Campeche. Ser. Académicos (28) Ciencias Biológicas y de la Salud. UAM-Xochicalco, México, 63 pp.
- Ayala-Pérez, L.A., Pérez-Velázquez, A., Aguirre-León, A. y Díaz-Ruiz, S. (1995). Abundancia nictemeral de corvinas (Pisces: Sciaenidae) en un sistema costero del sur del Golfo de México. *Hidrobiológica*, 5(1-2): 37-44.
- Castillo-Rivera, M. y Kobelkowsky, A. (1993). Comportamiento ambiental de la Laguna de Pueblo Viejo, Veracruz, México. *BIOTAM*, 5(2): 1-12.
- Castro-Aguirre, J.L., Torres-Orozco, R., Ugarte, M. y Jiménez, A. (1986). Estudios ictiológicos en el sistema estuarino-lagunar de Tuxpan-Tampamachoco, Ver. I. Aspectos ecológicos y elenco sistemático. *An. Esc. Nac. Cienc. Biol.*, México, 30(1): 155-170.
- Chavance, P., Flores, D., Yáñez-Arancibia, A. y Amezcua-Linares, F. (1984). Ecología, biología y dinámica de las poblaciones de *Bairdiella chrysoura* en la Laguna de Términos, sur del Golfo de México (Pisces: Sciaenidae). *An. Inst. Cienc. Mar Limnol. Univ. Nac. Autón. Méx.*, 11(1): 123-162.
- Contreras-Espinosa, F. (1993). Ecosistemas Costeros Mexicanos. CONABIO-UAM Iztapalapa, México, 415 pp.
- Daniel, W. (1997). Bioestadística: Base para el Análisis de las Ciencias de la Salud. Uthea-Noriega, México, 878 pp.
- Day, J.W., Hall, C.A.S., Kemp, W.M. and Yáñez-Arancibia, A. (1989). Estuarine Ecology. John Wiley, New York, 558 pp.
- De la Lanza, E.G., Sánchez-Santillán, N. y Esquivel-Herrera, A. (1998). Análisis temporal y espacial fisicoquímico de una laguna tropical a través del análisis multivariado. *Hidrobiológica*, 8(2): 89-96.
- Deegan, L.A. and Thompson, B.A. (1985). The ecology of fish communities in the Mississippi River deltaic plain. In: A. Yáñez-Arancibia (ed.), *Fish Community Ecology in Estuaries and Coastal Lagoons: Towards an Ecosystem Integration*. UNAM, Mexico, pp. 35-56.
- Deegan, L.A., Day, J.W., Gosselink, J.G., Yáñez-Arancibia, A., Soberón-Chávez, G. and Sánchez-Gil, P. (1986). Relationships among physical characteristics, vegetation, distribution and fisheries yields in Gulf of Mexico estuaries. In: D.A. Wolfe (ed.), *Estuarine Variability*. Academic Press, New York, pp. 83-100.
- Díaz-Ruiz, S., Yáñez-Arancibia, A. y Amezcua-Linares, F. (1982). Taxonomía, diversidad, distribución y abundancia de los pomadasidos de la Laguna de Términos, Campeche (Pisces: Pomadasyidae). *An. Inst. Cienc. Mar Limnol. Univ. Nac. Autón. Méx.*, 9(1): 251-278.
- Díaz-Ruiz, S., Aguirre-León, A. and Pérez-Solís, O. (2000). Distribution and abundance of *Syngnathus louisianae* and *Syngnathus scovelli* (Syngnathidae) in Tamiahua Lagoon, Gulf of Mexico. *Cienc. Mar.*, 26(1): 125-143.
- Franco-López, J. y Chávez-López, R. (1992). Síntesis sobre el conocimiento de la ictiofauna de la Laguna de Tamiahua, Veracruz, México. *Hidrobiológica*, 3-4: 53-63.
- García, E. (1988). Modificación al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM, México, 346 pp.
- Hook, J. (1991). Seasonal variations in relative abundance and species diversity of fishes in South Bay. *Contrib. Mar. Sci.*, 32: 127-141.
- Huh, S.H. and Kitting, C.L. (1985). Trophic relationships among concentrated populations of small fishes in seagrass meadows. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 92: 29-43.
- Ibáñez-Aguirre, A.L. y Solís-Weiss, V. (1986). Anélidos poliquetos de las praderas de *Thalassia testudinum* del noreste de la Laguna de Términos, Campeche, México. *Rev. Biol. Trop.*, 34(1): 35-47.
- Kobelkowsky, D.A. (1991). Ictiofauna de las lagunas costeras del estado de Veracruz. In: G. Figueroa, C. Alvarez, A. Esquivel and E. Ponce (eds.), *Fisicoquímica y Biología de las Lagunas Costeras Mexicanas*. Serie: Grandes Temas de la Hidrobiología, UAM-Iztapalapa, México, pp. 74-94.
- Livingston, R.J. (1985). Organization of fishes in coastal seagrass system: The response to stress. In: A. Yáñez-Arancibia (ed.), *Fish Community Ecology in Estuaries and Coastal Lagoons: Towards an Ecosystem Integration*. UNAM, México, pp. 367-382.
- Lubbers, L., Boynton, W.R. and Kemp, W.M. (1990). Variations in structure of estuarine fish communities in relation to abundance of submerged vascular plants. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 65: 1-14.
- Margalef, R. (1969). Perspectives in Ecological Theory. Univ. Chicago Press, Chicago, 111 pp.
- Miller, R.R. (1986). Composition and derivation of the freshwater fish fauna of Mexico. *An. Esc. Nac. Cienc. Biol.*, México, 30: 121-154.
- Orth, R.J., Heck, K.L. and van Montfrans, J. (1984). Faunal communities in seagrass beds: A review of the influence of plant structure and prey characteristics on predator-prey relationships. *Estuaries*, 7: 339-350.
- Pérez-Hernández, M.A. y Torres-Orozco, R.E. (2000). Evaluación de la riqueza de especies de peces en las lagunas costeras mexicanas: Estudio de un caso en el Golfo de México. *Rev. Biol. Trop.*, 48 (2/3): 425-438.
- Pielou, E.C. (1966). The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theoret. Biol.*, 13: 131-144.
- Reséndez, M.A. (1970). Estudio de los peces de la Laguna de Tamiahua, Veracruz, México. *An. Inst. Biol. Univ. Nac. Autón. Méx. (Ser. Cienc. Mar Limnol.)*, 41: 79-146.
- Reséndez, M.A. y Kobelkowsky, A. (1991). Ictiofauna de los sistemas lagunares costeros del Golfo de México. *Rev. Univ. Cienc.*, 8: 91-110.
- Ross, S.W. and Epperly, S.P. (1985). Utilization of shallow estuarine nursery areas by fishes in Palmico Sound and adjacent tributaries, North Carolina. In: A. Yáñez-Arancibia (ed.), *Fish Community Ecology in Estuaries and Coastal Lagoons: Towards an Ecosystem Integration*. UNAM, México, pp. 207-232.
- Rozas, L.P. and Odum, W.E. (1988). Occupation of submerged aquatic vegetation by fishes: Testing the roles of food and refuge. *Oecologia*, 77: 101-106.
- Shannon, E.C. and Weaver, W. (1963). *The Mathematical Theory of Communication*. Univ. Illinois Press, Urbana, 119 pp.
- Sokal, R.R. and Rohlf, F.J. (1997). *Biometry: The Principles and Practice of Statistics in Biological Research*. 3d ed. Freeman Co., New York, 887 pp.
- Stell, G.D.R. y Torrie, J.H. (1988). *Bioestadística: Principios y Procedimientos*. McGraw-Hill, México, 622 pp.
- Torres-Orozco, R.E. and Zanatta, S.A. (1998). Species composition, abundance and distribution of zooplankton in a tropical eutrophic lake: Lake Catemaco, Mexico. *Rev. Biol. Trop.*, 46(2): 285-296.
- Yáñez-Arancibia, A. and Lara-Domínguez, A.L. (1988). Ecology of three sea catfishes (Ariidae) in a tropical coastal ecosystem: Southern Gulf of Mexico. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 49: 215-230.
- Yáñez-Arancibia, A., Lara-Domínguez, A.L., Aguirre-León, A., Díaz-Ruiz, S., Amezcua, F. and Chavance, P. (1985). Ecology of dominant fish population in tropical estuaries: Environmental factors regulating biological strategies and production. In: A. Yáñez-Arancibia (ed.), *Fish Community Ecology in Estuaries and Coastal Lagoons: Towards an Ecosystem Integration*. UNAM, México, pp. 311-366.
- Yáñez-Arancibia, A., Lara-Domínguez, A.L., Rojas-Galaviz, J.L., Sánchez-Gil, P., Day, J.W. and Madden, C.J. (1988). Seasonal biomass and diversity of estuarine fishes coupled with tropical habitat heterogeneity (southern Gulf of Mexico). *J. Fish Biol.*, 33 (Suppl. A): 191-200.

- Yáñez-Arancibia, A., Aguirre-León, A. and Soberón-Chávez, G. (1992). Estuarine related fisheries in Términos Lagoon and adjacent continental shelf (southern Gulf of Mexico). In: E. Maltby, P.J. Dugan and J.C. Lefeuvre (eds.), *Conservation and Development: The Sustainable Use of Wetland Resources* (Proc. 3rd International Wetlands Conference, Rennes, France). IUCN Wetlands Programme, Gland, Switzerland, pp. 145–153.
- Yáñez-Arancibia, A., Lara-Domínguez, A.L. and Day, J.W. (1993). Interactions between mangrove and seagrass habitat mediated by estuarine nekton assemblages: Coupling of primary and secondary production. *Hydrobiologia*, 264: 1–12.
- Zar, J.H. (1999). *Biostatistical Analysis*. 4th. ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 123 pp.