

Estructura de la comunidad de larvas de peces en una montaña submarina del Golfo de California

Larval fish community structure in a seamount of the Gulf of California

Rogelio González-Armas¹,
René Funes-Rodríguez¹
y Alberto Amador-Buenrostro²

¹ Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Av. I. P. N. s/n. Col Playa Palo de Sta. Rita. A. P. 592, C. P. 23000, La Paz, B. C. S., México.

² Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada. A. P. 2732, C. P. 22800, Ensenada, B. C., México. Correo electrónico: rarmas@ipn.mx

González-Armas R., R. Funes-Rodríguez y A. Amador-Buenrostro. 2008. Estructura de la comunidad de larvas de peces en una montaña submarina del Golfo de California. *Hidrobiológica* 18(1 Suplemento): 77-88.

RESUMEN

Se determinaron los cambios en la estructura de la comunidad de larvas de peces en una montaña submarina conocida como El Bajo del Espíritu Santo (EBES) situada al sur del Golfo de California. Las larvas de peces fueron identificadas y agrupadas en 48 familias, 84 géneros y 76 especies. La riqueza de especies fue notable por que representa cerca del 30% del total de las especies de peces del Golfo de California. Los taxa numéricamente dominantes están representados por individuos cuyos adultos pertenecen al hábitat mesopelágico, arrecifal y pelágico costero (*Vinciguerria lucetia*, *Mugil cephalus*, *Harengula thrissina*, *Benthoosema panamense*, *Scomber japonicus*, *Mulloidichthys dentatus*, *Hyporhamphus rosae*, *Abudefduf troschelii*, *Eucinostomus argenteus*, *Triphoturus mexicanus* y Gobiidae). Especies de pelágicos mayores de origen oceánico también estuvieron presentes aunque fueron escasas (*Tetrapturus audax*, *Coryphaena hippurus*). Se determinó una alta diversidad (H') desde finales de primavera hasta el otoño (2.0-2.8) en coincidencia con el incremento y máxima temperatura superficial del mar (21-30 °C). La estructura de la comunidad y su variación en el tiempo estuvieron relacionadas con la alternancia en los periodos reproductivos y eventos de mesoescala de la dinámica oceánica del Golfo de California.

Palabras clave: Larvas de peces, estructura de la comunidad, montaña submarina, masas de agua, Golfo de California.

ABSTRACT

Larval fish community structure in El Bajo Espíritu Santo seamount from the southern part of the Gulf of California was studied. Fish larvae were identified and grouped in 48 families, 84 genera and 76 species. Their biological richness constitutes about 30% of the actual Gulf of California fishes. Numerically dominant taxa were represented by individuals whose adults belong to the mesopelagic, reef and coastal pelagic habitat (*Vinciguerria lucetia*, *Mugil cephalus*, *Harengula thrissina*, *Benthoosema panamense*, *Scomber japonicus*, *Mulloidichthys dentatus*, *Hyporhamphus rosae*, *Abudefduf troschelii*, *Eucinostomus argenteus*, *Triphoturus mexicanus* and Gobiidae). Large pelagic species from oceanic origin were also found in the samples, although they were scarce (*Tetrapturus audax*, *Coryphaena hippurus*). A high diversity (H') was found between late spring and autumn (2.0-2.8), it was determined in coincidence with an increment and maximum values of sea surface temperature (21-30 °C). Larval fish community structure was related with reproductive periods and mesoscale events of the ocean dynamics.

Key words: Fish larvae, community structure, seamount, water masses Gulf of California.

INTRODUCCION

El Bajo del Espíritu Santo (EBES) es una montaña submarina caracterizada por dos picos cercanos a la superficie del mar separados por una distancia de 100 m aproximadamente (Klimley & Nelson, 1984). La importancia de las montañas submarinas es debida a la concurrencia de plancton, peces planctívoros y depredadores tope, que es favorecida por corrientes marinas que interactúan con su topografía somera. En regiones de alta diversidad, donde a pesar de ser áreas relativamente restringidas, se consideran regiones críticas denominadas como puntos calientes" o "hot spots" que requieren de iniciativas de manejo e incluso ser consideradas como reservas ecológicas (Sala *et al.*, 2002; Etnoyer *et al.*, 2004, 2006; Malakoff, 2004).

El Bajo Espíritu Santo es famoso por presentar agregaciones de peces y tiburones martillo, *Sphyrna lewini* (Griffith & Smith, 1834) además de grandes cardúmenes de peces cocineros, atunes y pámpanos que ocurren regularmente. Otros visitantes que son de interés regional en actividades como el buceo y la pesca deportiva son: pargos, pez vela, marlines, mantarayas, tiburones de arrecife y en ocasiones tiburones ballena (Klimley & Nelson, 1981; 1984; Klimley & Butler, 1988; Klimley *et al.*, 1988).

Los mecanismos que influyen en las agregaciones de peces sobre montañas submarinas no son concluyentes, no obstante, se señalan como los principales precursores a la influencia de surgencias y giros que dependen de factores topográficos y de la intensidad de las corrientes (Yamanaka, 1986). La generación de un sistema de vórtices topográficos (Darnistky, 1985), da lugar a giros locales que promueven el enriquecimiento de la capa fótica y aparentemente funcionan como colectores mecánicos del zooplancton (Fedorov & Chistikov, 1985). Estudios de comunidades de plancton en la vecindad de islas y atolones proponen que los mecanismos que mantienen el plancton y larvas de peces se relacionan con giros, interacción con la topografía y mareas, además de patrones de comportamiento como es la migración ontogénica (Emery, 1972; Wolanski & Hamner, 1988; Boehlert & Genin, 1987; Boehlert *et al.*, 1992). En el EBES ocurren procesos oceanográficos a diferentes escalas de tiempo que inducen la mezcla vertical que promueve el enriquecimiento de la columna de agua (i. e., corrientes, advección de marea, viento y giros Trasviña-Castro *et al.*, 2003). En tanto que los cambios en las agregaciones de peces ha sido relacionada con la variabilidad hidrográfica de acuerdo a la influencia de diferentes masas de agua con características particulares (Klimley & Butler, 1988).

En el Golfo de California no existe un trabajo previo sobre la estructura de la comunidad de larvas de peces sobre montañas submarinas. No obstante, el EBES es reconocido por presentar altas concentraciones de huevos y larvas de peces (González-Armas, 2002; Trasviña-Castro *et al.*, 2003), al igual que agregaciones importantes y valores máximos de biomasa del plancton

y macrozooplancton (González-Armas *et al.*, 2002). El objetivo del presente estudio es identificar la riqueza de larvas de peces y los cambios en la estructura de la comunidad de larvas de peces durante un ciclo anual en El Bajo Espíritu Santo, situado al sur del Golfo de California.

MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio esta localizada en El Bajo Espíritu Santo (24° 42' N y 110° 18' W) al noreste de La Paz, Baja California Sur, México dentro del Golfo de California. La montaña presenta dos picos separados por una distancia de 100 m, siendo uno menos profundo, localizado a 14 m de la superficie del mar (Klimley & Nelson, 1984; Fig. 1). Los muestreos de plancton fueron realizados en ocho estaciones ubicadas sobre la montaña submarina, con una periodicidad mensual durante un ciclo anual entre noviembre de 1995 y diciembre de 1996. En total se recolectaron 88 muestras de plancton con una red cilíndrico-cónica de 3 m de largo, 505 µm de apertura de malla y 0.6 m de diámetro en la boca. Los muestreos de plancton se realizaron en horas del día, a bordo de una embarcación de fibra de vidrio de 7 m de eslora. El arrastre fue superficial de forma semicircular (primer metro) fuera de la estela de la embarcación, a una velocidad de 3.5 nudos (6.4 km h⁻¹) usando un GPS para controlar la velocidad, durante 5 min. Las muestras de plancton fueron fijadas en agua de mar con formaldehído al 4%, en una solución saturada de borato de sodio como solución amortiguadora. De forma simultánea en cada arrastre se registró la temperatura superficial del agua de mar mediante un termómetro de cubeta.

Las larvas de peces fueron separadas en su totalidad utilizando un microscopio estereoscopio e identificadas hasta el nivel de especie cuando fue posible. La identificación de las especies se realizó utilizando como las principales fuentes bibliográficas los trabajos de Ueyanagi (1974), Nishikawa y Rimmer (1987), Baldwin (1990), Nishikawa (1991) y Moser (1996).

La diversidad de las larvas de peces fue medida con el índice de Shannon-Wiener (H') como una medida de la heterogeneidad y su equitatividad (J'). Estas funciones fueron calculadas (Clark & Warwick, 2001) como:

$$H' = -\sum_i p_i \log(p_i)$$

$$J' = H' / H'_{\max} = H' / \log S$$

Donde p_i es la proporción de la muestra total perteneciente a la i -ésima especie; H'_{\max} es el valor máximo posible de la diversidad de Shannon-Wiener y $\log S$ todas las especies. Este índice considera el número de las especies y la uniformidad de la distribución de individuos en las diversas especies (Peet, 1974). La medida de diversidad fue aplicada a la sumatoria de la abundancia de las especies del total de estaciones en cada

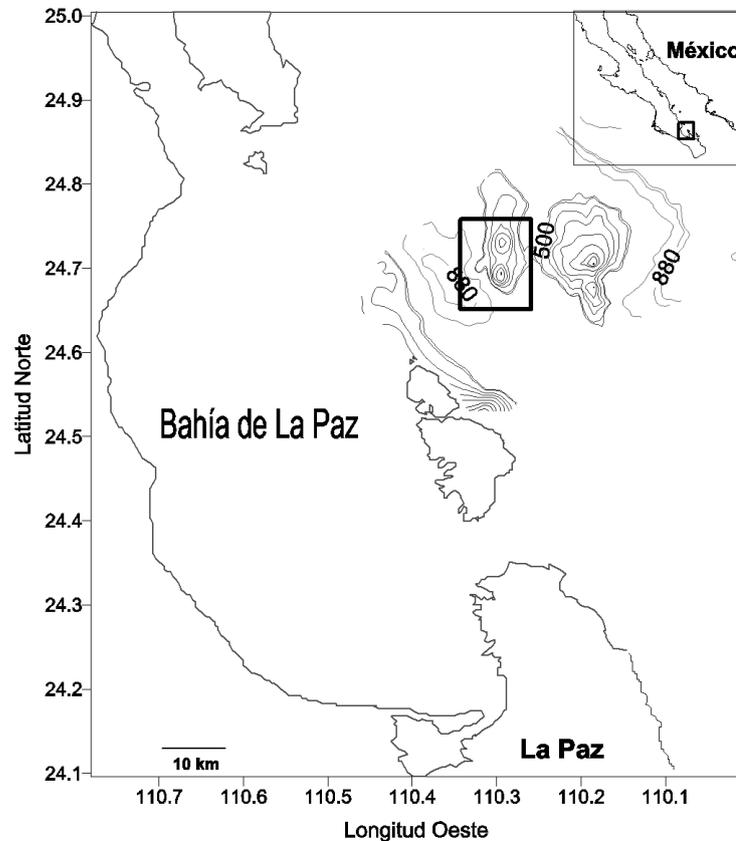


Figura 1. Localización y batimetría de El Bajo Espíritu Santo (EBES) Baja California Sur.

uno de los once muestreos. Sin embargo, fueron eliminadas de este análisis algunos individuos agrupados a nivel de familias o géneros debido a problemas para su identificación (Ophidiidae, Anthiinae, Diplectrum spp., Gobiidae).

El Índice de Valor Biológico (Sanders, 1960) tiene por objeto jerarquizar las especies en orden de importancia basado en la constancia espacio-temporal de sus abundancias, expresado a través de valores de IVB (Loya-Salinas & Scofet, 1990).

La fórmula para calcular el IVB es la siguiente:

$$IVB = \sum_{i=1}^j P_{vij}$$

Donde i es la especie, j la muestra y P_{vij} es el nivel de cada especie en la i -ésima muestra.

La técnica de escalamiento no métrico multidimensional (Kruskal, 1964) fue aplicada para obtener una descripción del patrón estacional de la abundancia de larvas (11 meses de estudio). El análisis de la variación estacional se realizó utilizando una matriz con la abundancia mensual de cada una de las especies que ocurrieron en más de un muestreo (44 especies). El procedimiento general del escalamiento no métrico multidimensional (NMDS por sus siglas en inglés) fue en modo automático de configuración del programa PC-ORD v4.26 (McCune

& Mefford, 1999; McCune *et al.*, 2002) para obtener la solución con menor estrés posible, eligiendo la distancia de Bray-Curtis (Bray & Curtis, 1957). Previo al análisis la abundancia de los organismos fue transformada a $\log(x + 1)$. Los criterios para identificar las ventanas ambientales de las especies asociadas en tiempo y espacio (grupos faunísticos) fueron complementados con información autoecológica de las especies (distribución de la especie; afinidad biogeográfica; época de reproducción). La información fue obtenida principalmente de Moser (1996) y Fishbase (<http://www.fishbase.org/search.cfm>).

Las imágenes infrarrojas de la temperatura superficial del mar se utilizaron para mostrar los cambios en las masas de agua y eventos de mesoescala del Golfo de California de febrero a diciembre de 1996. Estas fueron generadas con una técnica no lineal usando los datos de las bandas 4 y 5 del radiómetro avanzado de alta resolución (AVHRR) de la serie de satélites de la National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA). La resolución de cada píxel es de 1.1 km. Para este propósito se generaron series de 4 a 8 imágenes para cada uno de los meses muestreados y así poder resaltar características más importantes del área de estudio. Las imágenes de satélite representan un área cuadrada de 5 x 5 grados de latitud. A cada imagen se le asignó una paleta de tonos de grises para destacar los contrastes presentes, como giros, filamentos, etc.

RESULTADOS

El promedio mensual de la temperatura superficial del mar (TSM) del EBES, siguió un patrón estacional que es identificado por un periodo frío de menor temperatura de invierno y la transición de primavera, de febrero a junio (21.2-24.0 °C); seguido de un periodo cálido, con un rápido incremento de hasta seis grados en la TSM y valores máximos durante verano y principios de otoño, de julio a octubre (27.8-30.8 °C); y finalmente, un periodo de transición, de cálido a frío en otoño, de noviembre a diciembre (25.8-23.2 °C; Fig. 2).

El patrón de variación de la TSM fue relacionado con imágenes de satélite de la TSM, donde fue posible observar la presencia de una masa de agua relativamente fría muy costera al oeste del Golfo, del lado peninsular en invierno (febrero y abril) y simultáneamente, una masa de agua con temperatura relativamente mayor (23-25 °C) al sureste del Golfo de California (Fig. 3). La influencia de una masa de agua cálida (>28 °C) fue dominante a lo largo del Golfo en verano (junio a octubre) (Fig. 4), seguido de un periodo de relajamiento y disminución en la TSM durante la transición de otoño (noviembre a diciembre) (Fig. 3). Es importante señalar la presencia de giros ciclónicos cercanos al EBES entre los 24° y 25° N en la parte central del Golfo de California, que son más evidentes durante en la época de transición de otoño (noviembre y diciembre 1995) y menos evidentes en primavera (junio 1996; Figs. 3 y 4).

Las larvas de peces identificadas fueron agrupadas en 48 familias, 79 géneros y 74 especies de un total de 2107 larvas de peces recolectadas durante el periodo de estudio. Las familias que contribuyen con el mayor número de especies fueron (Tabla 1): Carangidae y Serranidae (7); Scombridae (5); Clupeidae, Myctophidae, Exocoetidae y Blenniidae (4). Las especies numé-

ricamente importantes fueron: *Vinciguerria lucetia* (20.42% abundancia, 12.50% frecuencia); *Mugil cephalus* (10.93%, 9.09%) y *Benthoosema panamense* (7.86%, 5.68%). En menor proporción se encontró a *Chloroscombrus orqueta*, *Harengula thrissina*, *Cubiceps pauciradiatus* y *Eucinostomus argenteus* los cuales contribuyen con valores alrededor del 3-4% de la abundancia y 3-8% de la frecuencia relativa. El valor para larvas de Anthiinae fue cercano al 7% de la abundancia.

La dominancia numérica de larvas de peces determinada mediante el IVB mostró una mezcla de especies cuyos adultos pertenecen a diferente hábitat. Especies mesopelágicas: *Vinciguerria lucetia* (Garman, 1899), *Benthoosema panamense* (Tåning, 1932), *Triphoturus mexicanus* (Gilbert, 1890), de las cuales *V. lucetia* presentó la más alta proporción del índice (10); seguido de especies de arrecife y aguas someras: *Mugil cephalus* (Linnaeus, 1758), *Mulloidichthys dentatus* (Gill, 1863), *Abudefduf throschelli* (Gill, 1862), *Eucinostomus argenteus* (Baird & Girard, 1855); especies pelágico costeras: *Scomber japonicus* (Houttuyn, 1782), *Harengula thrissina*, (Jordan & Gilbert, 1882), *Hyporamphus rosae* (Jordan & Gilbert, 1880); y especies del hábitat demersal submareal (*Mugil cephalus*), que ocuparon valores entre 4 y 6 del IVB. No obstante, otras especies pudieran ser consideradas como visitantes relativamente frecuentes (3-7%; Tabla 1) de acuerdo a la ocurrencia de sus larvas, entre las que encontramos especies cuyos adultos son de interés en la pesca comercial y deportiva: *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842), *Opisthonema libertate* (Günther, 1867), *Engraulis mordax* (Girard, 1854), *Coryphaena hippurus* (Linnaeus, 1758), *Auxis* spp., *Euthynnus lineatus* (Kishinouye, 1920), *Caranx caballus* (Günther, 1868), *Calamus brachysomus* (Lockington, 1880), *Tetrapturus audax* (Philipphi, 1887) y *Kyphosus* sp.

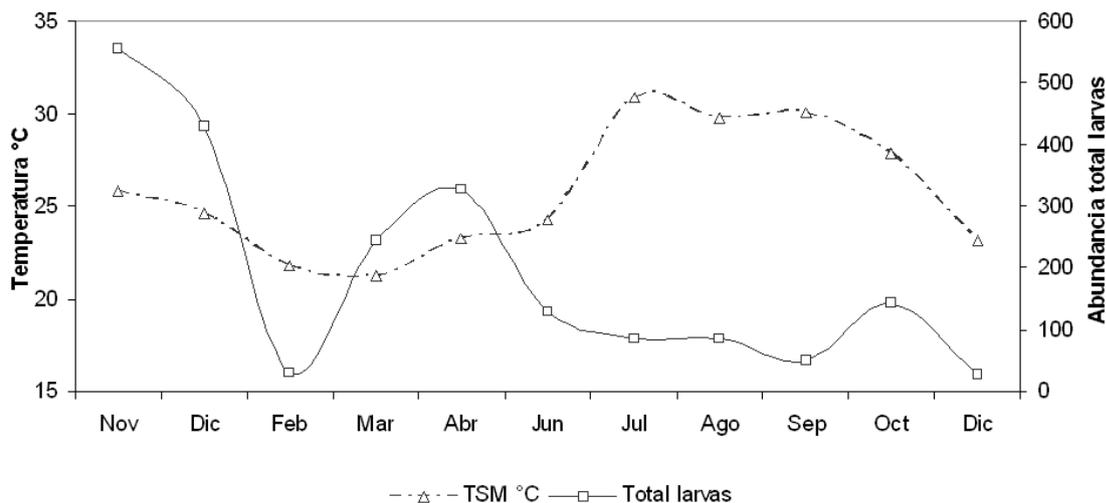


Figura 2. Temperatura superficial del mar (TSM) y abundancia total de larvas de peces (valores absolutos) en El Bajo Espíritu Santo Baja California Sur (1995-1996).

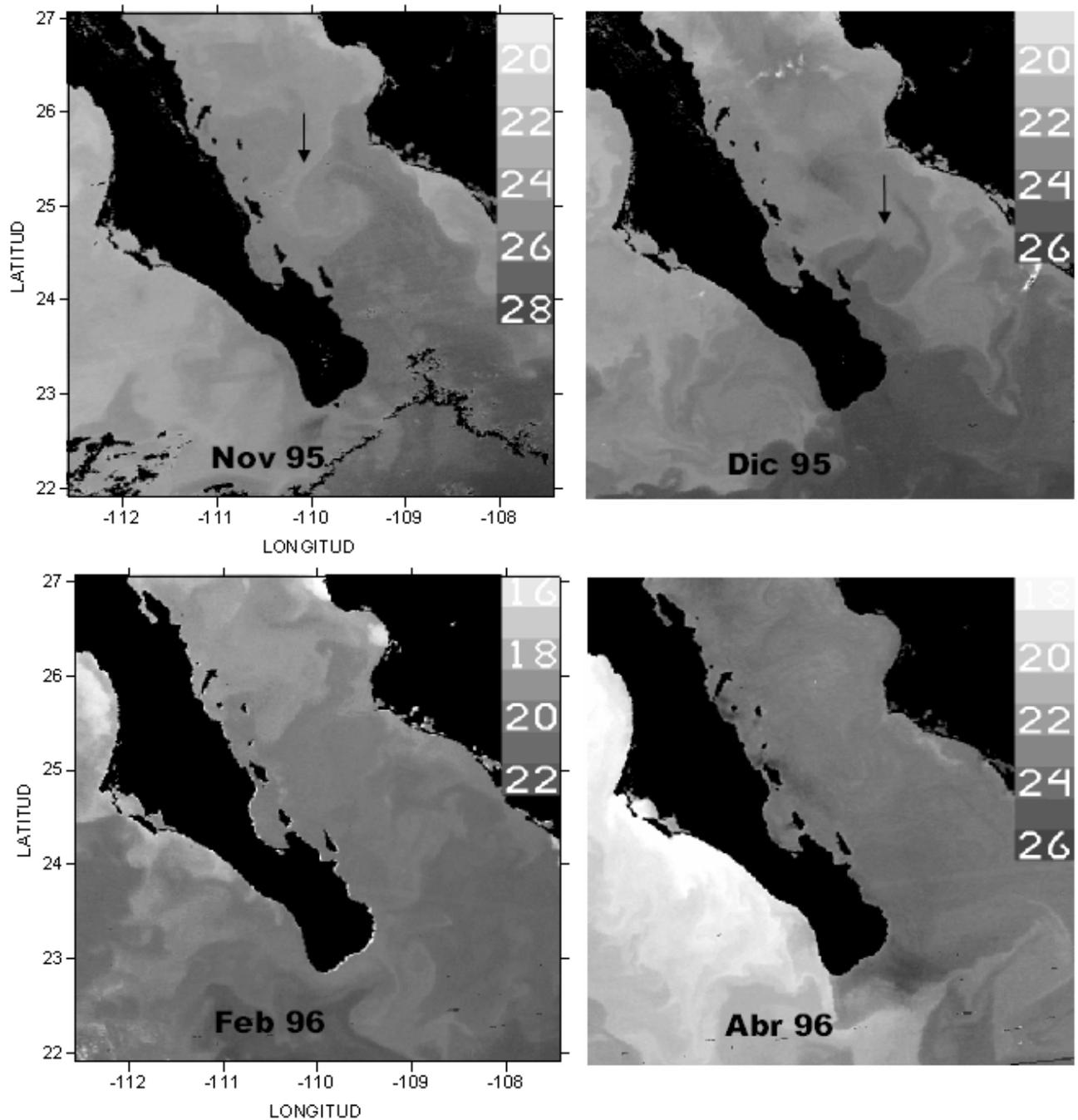


Figura 3. Imágenes de satélite de alta resolución (AVHRR) de la serie de satélites de la National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA) del Golfo de California: noviembre y diciembre de 1995, febrero y abril de 1996. Las flechas indican la localización de los giros.

La abundancia de larvas no presentó de forma clara un patrón estacional definido, esto se debió a que en promedio la mayor abundancia de larvas se registró en otoño de 1995 (556 y 429 larvas), con respecto de la misma temporada en 1996 (144 y 27 larvas). No obstante, un incremento de la abundancia se observó desde finales de invierno y primavera que corresponde a la temporada fría (129-246 larvas), mientras que disminuyó

considerablemente (27-144 larvas) durante el periodo cálido de verano y otoño de 1996 (Fig. 2)

Los valores del índice de diversidad (1.8-2.8) y de equitatividad (0.41-0.63) fueron comparativamente altos de primavera a otoño, excepto en marzo 1996 y octubre de 1996 ($H' = 0.25$ y 0.37 ; $J' = 0.05$ y 0.08 , respectivamente). La diversidad se incrementó

Tabla 1. Listado de larvas de peces identificadas en la montaña submarina el Bajo Espíritu Santo, Baja California Sur de noviembre de 1995 a diciembre de 1996. A%, abundancia relativa; F%, frecuencia relativa

	A%	F%
Albulidae		
<i>Albula vulpes</i> (Linnaeus, 1758)	0.05	2.27
Ophichthidae		
Congridae		
<i>Ariosoma gilberti</i> (Ogilby, 1898)	0.05	2.27
Derichthyidae		
<i>Derichthys serpentinus</i> Gill, 1884	0.18	3.41
Clupeidae		
<i>Etrumeus teres</i> (De Kay, 1842)	0.09	2.27
<i>Harengula thrissina</i> (Jordan & Gilbert, 1882)	2.98	7.95
<i>Opisthonema libertate</i> (Günther, 1867)	0.50	4.55
<i>Sardinops sagax</i> (Jenyns, 1842)	2.44	3.41
Engraulidae		
<i>Engraulis mordax</i> Girard, 1854	3.12	4.55
Phosichthyidae		
<i>Vinciguerria lucetia</i> (Garman, 1899)	20.42	12.50
Synodontidae		
<i>Synodus lucioceps</i> (Ayres, 1855)	0.36	7.95
<i>Synodus sechurae</i> Hildebrand, 1946	0.72	2.27
Myctophidae		
<i>Lampanyctus parvicauda</i> Parr, 1931	0.23	3.41
<i>Triphoturus mexicanus</i> (Gilbert, 1890)	2.53	6.82
<i>Benthoosema panamense</i> (Tåning, 1932)	7.86	5.68
<i>Hygophum atratum</i> (Garmann, 1899)	0.18	4.55
Ophidiidae	0.23	3.41
<i>Ophidion</i> sp.	0.05	2.27
Carapidae		
<i>Encheliophis dubius</i> (Putnam, 1874)	0.05	2.27
Lophiidae		
<i>Lophiodes spilurus</i> (Garman, 1899)	0.05	2.27
Belonidae		
<i>Strongylura exilis</i> (Girard, 1854)	0.05	2.27
Hemiramphidae		
<i>Hemiramphus saltator</i> Gilbert & Starks, 1904	2.17	2.27
<i>Hyporhamphus rosae</i> (Jordan & Gilbert, 1880)	1.76	9.09
<i>Oxyporhamphus micropterus</i> (Valenciennes, 1847)	0.05	2.27
Exocoetidae	A%	F%
<i>Cheilopogon heterurus hubbsi</i> Parin, 1961	0.32	2.27
<i>Exocoetus volitans</i> Linnaeus, 1758	0.90	7.95
<i>Hirundichthys rondeletii</i> (Valenciennes, 1846)	0.05	2.27
<i>Prognichthys tringa</i> Breder, 1928	0.14	3.41
Lophotidae		

Tabla 1. Continuación

<i>Lophotus lacepede</i> Giorna, 1809	0.23	2.27
Holocentridae		
<i>Myripristis leiognathos</i> Valenciennes, 1855	0.50	6.82
Melamphidae	0.23	2.27
Fistularidae		
<i>Fistularia commersonii</i> Rüppell, 1838	0.09	2.27
Scorpaenidae		
<i>Sebastes</i> sp.	0.23	2.27
Serranidae		
Anthiinae	6.68	5.68
<i>Epinephelus</i> sp.	0.81	2.27
<i>Diplectrum</i> spp.	0.18	3.41
<i>Paralabrax maculatofasciatus</i> (Steindachner, 1868)	0.09	2.27
<i>Serranus</i> sp.	0.09	0.00
<i>Hemanthias signifer</i> (Garman, 1899)	2.30	6.82
<i>Pronotogrammus multifasciatus</i> Gill, 1863	0.23	2.27
<i>Paranthias colonus</i> (Valenciennes, 1846)	0.05	2.27
Apogonidae		
<i>Apogon retrosella</i> (Gill, 1863)	0.14	4.55
Carangidae		
<i>Caranx caballus</i> Güther, 1868	1.72	3.41
<i>Chloroscombrus orqueta</i> Jordan & Gilbert, 1833	3.52	2.27
<i>Decapterus</i> sp.	0.27	2.27
<i>Naucrates ductor</i> (Linnaeus, 1758)	0.09	3.41
<i>Selar crumenophthalmus</i> (Bloch, 1793)	0.09	3.41
<i>Seriola lalandi</i> Valenciennes, 1833	1.26	6.82
<i>Trachurus symmetricus</i> (Ayres, 1855)	0.77	2.27
Coryphaenidae		
<i>Coryphaena hippurus</i> Linnaeus, 1758	1.40	5.68
Lutjanidae	A%	F%
<i>Lutjanus novemfasciatus</i> Gill, 1862	0.05	2.27
Gerreidae		
<i>Eucinostomus argenteus</i> Baird & Girard, 1855	2.44	7.95
Haemulidae		
<i>Conodon serrifer</i> Jordan & Gilbert, 1882	0.05	2.27
Sparidae		
<i>Calamus brachysomus</i> (Lockington, 1880)	0.09	3.41
Mullidae		
<i>Mulloidichthys dentatus</i> (Gill, 1863)	1.67	6.82
Kyphosidae		
<i>Hermosilla azurea</i> Jenkins & Evermann, 1889	0.09	3.41
<i>Kyphosus</i> sp.	0.09	3.41
Pomacentridae		

Tabla 1. Continuación

<i>Abudefduf troschelii</i> (Gill, 1862)	2.16	7.95
<i>Stegastes rectifraenum</i> (Gill, 1862)	0.09	2.27
Mugilidae		
<i>Mugil cephalus</i> Linnaeus, 1758	10.93	9.09
Polynemidae		
<i>Polydactylus approximans</i> (Lay & Bennett, 1839)	0.18	2.27
Ammodytidae		
<i>Ammodytoides gilli</i> (Bean, 1875)	0.05	2.27
Labrisomidae		
<i>Labrisomus xanathi</i> (Gill, 1860)	0.05	2.27
Chaenopsidae		
<i>Neoclinus blanchardi</i> Girard, 1858	0.05	2.27
Blenniidae		
<i>Hypsoblennius brevipinnis</i> (Günther, 1861)	0.18	2.27
<i>Hypsoblennius proteus</i> (Krejsa, 1960)	0.09	2.27
<i>Hypsoblennius</i> sp.	2.35	3.41
<i>Ophioblennius steindachneri</i> Jordan & Evermann, 1898	0.05	2.27
<i>Plagiotremus azalea</i> (Jordan & Bollman, 1890)	0.05	2.27
Gobiidae	1.67	7.95
Microdesmidae		
<i>Clarkichthys bilineatus</i> (Clark, 1936)	0.09	2.27
Scombridae		
<i>Auxis</i> spp.	3.30	5.68
<i>Euthynnus lineatus</i> Kishinouye, 1920	0.54	4.55

Tabla 1. Continuación

<i>Scomber japonicus</i> Houttuyn, 1782	1.54	6.82
<i>Scomberomorus sierra</i> Jordan & Starks, 1895	0.05	2.27
<i>Thunnus albacares</i> (Bonnatere, 1788)	0.05	2.27
Istiophoridae		
<i>Tetrapturus audax</i> (Philippi, 1887)	0.18	3.41
Nomeidae		
<i>Cubiceps pauciradiatus</i> Günther, 1872	2.53	3.41
<i>Psenes sio</i> Haedrick, 1970	0.05	2.27
Stromateidae		
<i>Prepilus simillimus</i> (Ayres, 1860)	0.09	2.27
Paralichthyidae		
<i>Citharichthys</i> sp.	0.09	2.27
<i>Syacium ovale</i> (Günther, 1864)	0.09	3.41
Bothidae		
<i>Bothus leopardinus</i> (Günther, 1862)	0.18	3.41
<i>Engyophrys sanctilaurentia</i> Jordan & Bollman, 1890	0.09	3.41
Cynoglossidae		
<i>Symphurus atricaudus</i> (Jordan & Gilbert, 1880)	0.09	3.41
<i>Symphurus atramentatus</i> Jordan & Bollman 1890	0.05	2.27
Tetraodontidae		
<i>Sphoeroides annulatus</i> (Jenyns, 1842)	0.05	2.27
<i>Sphoeroides lobatus</i> (Steindachner, 1870)	0.36	4.55
Diodontidae		
<i>Diodon holocanthus</i> Linnaeus, 1758	0.05	2.27

debido al número de las especies (17-29) durante el periodo de transición de primavera, en tanto que, durante el periodo cálido de verano y otoño, se debió al número de especies (12-38) y su equitatividad (Fig. 5).

El análisis de la estructura estacional de la abundancia (NMDS) indica que existe una mayor significancia entre el primer y el segundo ejes (estrés final de 20.59 e inestabilidad de 0.0001). El coeficiente de determinación de la correlación entre las distancias de ordenación y las distancias en el espacio n -dimensional original fue de 0.466 en el primer eje y de 0.350 el segundo, entre ambos ejes explican el 81.6% del total de la variabilidad. En la parte superior del ordenamiento (lado izquierdo) se ubican los meses de la temporada fría (invierno y principios de primavera), aquí fueron encontradas las especies de afinidad transicional templado-subtropical (*S. sagax*, *E. mordax* y *S. japonicus*). En cambio del lado derecho del ordenamiento están ubicados los meses cálidos de verano-otoño y sus especies relacionadas que son principalmente de afinidad tropical-subtropical. La parte

inferior del ordenamiento fue caracterizada por los meses con la menor diversidad y abundancia de las especies (Fig. 6).

DISCUSIÓN

La importancia de las montañas submarinas como zonas de alta biodiversidad ha sido reconocida en diversas partes del mundo, pero en nuestro país este tipo de estudios es incipiente. Existen iniciativas de grupos de conservación para proteger la biodiversidad biológica en estas montañas submarinas dentro del Golfo de California. Conocer la estructura de la comunidad y las causas que determinan su variación fue el propósito del presente trabajo. La riqueza de especies, dominancia numérica y abundancia de las especies, permitió inferir que la dinámica oceánica de mesoescala es la principal causa del cambio de las especies y conjunción de biotas de diferente afinidad y hábitat a lo largo del año. No existe un patrón definido que identifique una estacionalidad en la que ocurren las especies e incrementos en

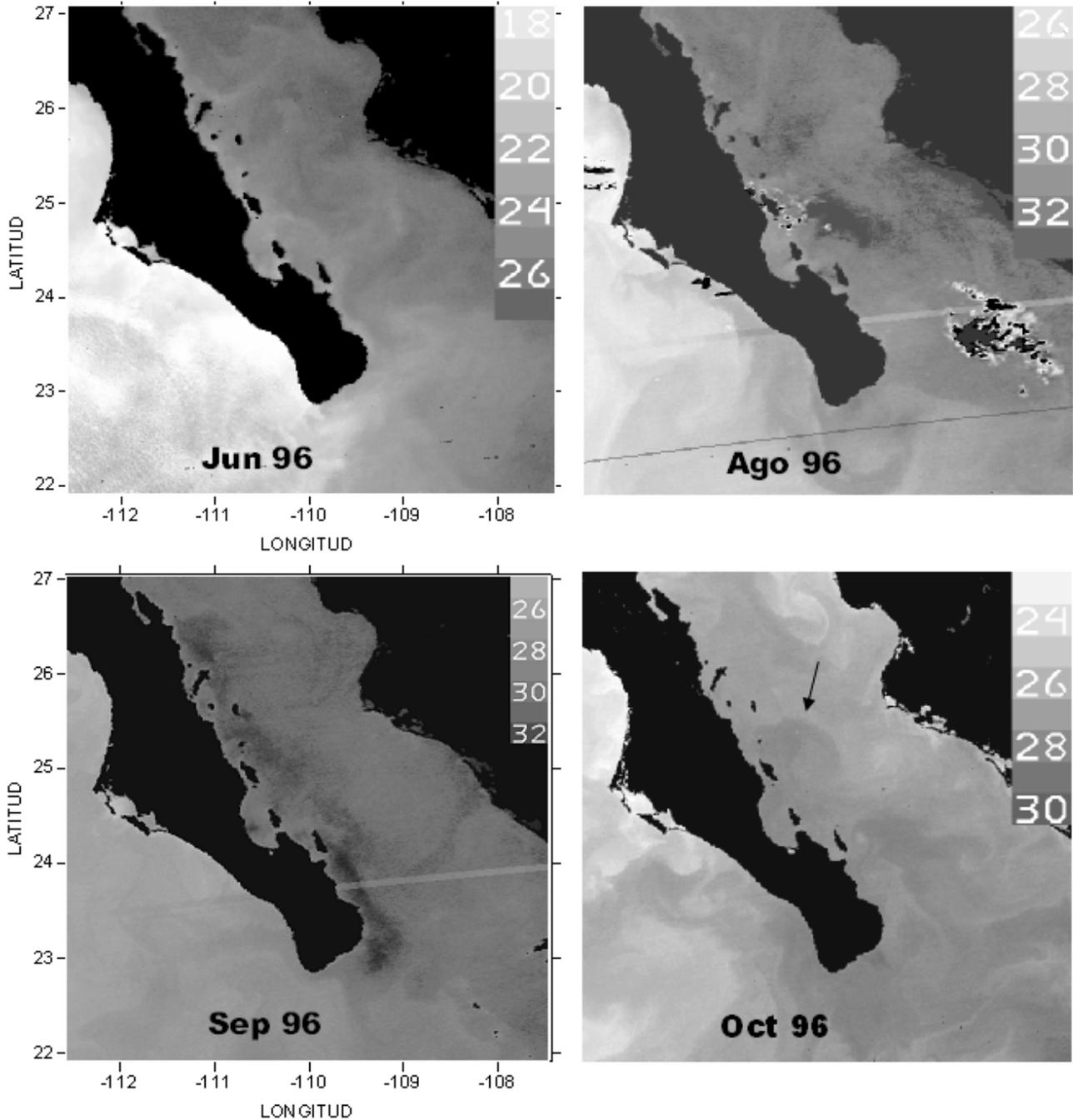


Figura 4. Imágenes de satélite de alta resolución (AVHRR) de la serie de satélites de la National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA) del Golfo de California: junio, agosto, septiembre y octubre de 1996. Las flechas indican la localización de los giros.

su abundancia donde existe una marcada variación mensual, sin embargo, en el análisis de ordenamiento temporal es posible observar una separación entre las especies asociadas de acuerdo a su afinidad biogeográfica.

En un trabajo pionero realizado para entender las agregaciones de peces adultos sobre el EBES, establece que la

influencia de diferentes masas de agua, tienen relación con el cambio de la comunidad a diferentes escalas de tiempo (Klimley & Butler, 1988). Esto fue comprobado con el apoyo de imágenes de satélite de la TSM, donde existe una estrecha correspondencia entre los meses de mayor riqueza y abundancia de larvas de peces, en situaciones donde esta presente la mezcla de masas de agua. Esto es indicado por el agua fría al interior del Golfo y el

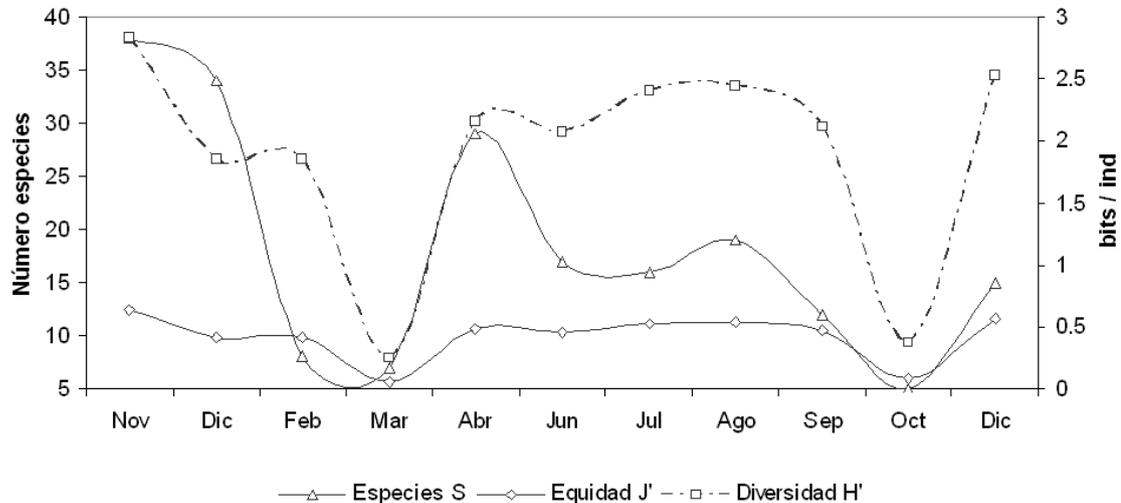


Figura 5. Diversidad (H'), número de especies (S) y equitatividad (J') de larvas de peces en EBES, Baja California Sur de noviembre de 1995 a diciembre de 1996.

ingreso de agua cálida en la boca del Golfo del lado peninsular en noviembre-diciembre 1995 y abril de 1996, lo cual, es consistente con el flujo de agua tropical con dirección hacia el norte a partir de la primavera y se retrae hacia el sur durante el otoño (Alvarez-Borrego, 1983). En contraste, los valores intermedios de riqueza ocurren en una situación de dominancia de agua fría en invierno y cálida de verano a principios de otoño.

La importancia que tienen los gradientes latitudinales de temperatura en la distribución espacio-temporal de la diversidad y asociaciones de larvas de peces, ha sido señalada anteriormente en el Golfo de California (Moser *et al.*, 1973; Aceves-Medina *et al.*, 2004). La ubicación geográfica de las asociaciones y las especies que las caracterizan, es el resultado de la expansión o contracción de faunas templadas o tropicales relacionado con la circulación oceánica del interior del Golfo (Aceves-Medina *et al.*, 2004). Esta dinámica ha sido previamente observada en la amplia variación térmica entre febrero-marzo (16 °C) y agosto (31 °C) en la fosa de Guaymas, Sonora, donde las condiciones de invierno se extienden de diciembre a abril y las de verano de junio a octubre, con periodos de transición en mayo y noviembre (Robles & Marinone, 1987).

Por otra parte, la presencia de un giro ciclónico de mesoescala en la vecindad del EBES (24-25° N) en noviembre de 1995 y 1996, junio de 1996, pudiera contribuir con la advección de larvas, principalmente de origen mesopelágico. La existencia de este giro semi-permanente tiene un diámetro de aproximadamente 100 km y se extiende desde el macizo continental hasta aproximadamente 25 km al este de la isla Espíritu Santo (Emilsson & Alatorre, 1997; Amador-Buenrostro *et al.*, 2003). El incremento en la abundancia y riqueza de especies en noviembre de 1995, pudiera estar relacionado con la presencia del giro, pero no en

otros periodos, debido a que la posición e intensidad del giro cambia a lo largo del tiempo, como lo señalan Emilsson y Alatorre (1997).

La conjunción de biotas es una característica del EBES, en él, se congrega una mezcla de especies de diferente hábitat. De hecho, una especie mesopelágica (*Vinciguerria lucetia*) presentó el porcentaje más alto del IVB, entre otras especies numéricamente dominantes pertenecientes a diferente hábitat (arrecifal, pelágico-costeras, demersal, oceánico). A su vez, es notable que en un área tan reducida donde se ubica el bajo, exista un alto porcentaje de especies (30%) del total de peces óseos registrados en el Golfo de California (Walker, 1960).

La ocurrencia de una gran variedad de especies en etapa larval, cuyos adultos pertenecen a diferente hábitat, puede deberse a la advección de corrientes de origen oceánico o costero. Estudios de la circulación local de corrientes alrededor de la montaña submarina, muestran la influencia de un flujo que es consistente con la dinámica de gran escala del agua del Golfo de California, pero también, del flujo saliente de la Bahía de La Paz que promueve la diversidad del EBES, con especies de regiones biológicamente diferentes (Trasviña-Castro *et al.*, 2003).

El origen de las asociaciones de larvas de peces y de su variación en el tiempo esta relacionado con la localización y época de reproducción del adulto. No obstante, el papel de la montaña submarina como zona de retención es reconocido por presentar altas concentraciones de huevos y larvas de peces (González-Armas, 2002; Trasviña-Castro *et al.*, 2003), así como, de agregaciones y valores máximos de biomasa del plancton y macrozooplancton, con respecto de otros sitios a su alrededor (González-Armas *et al.*, 2002).

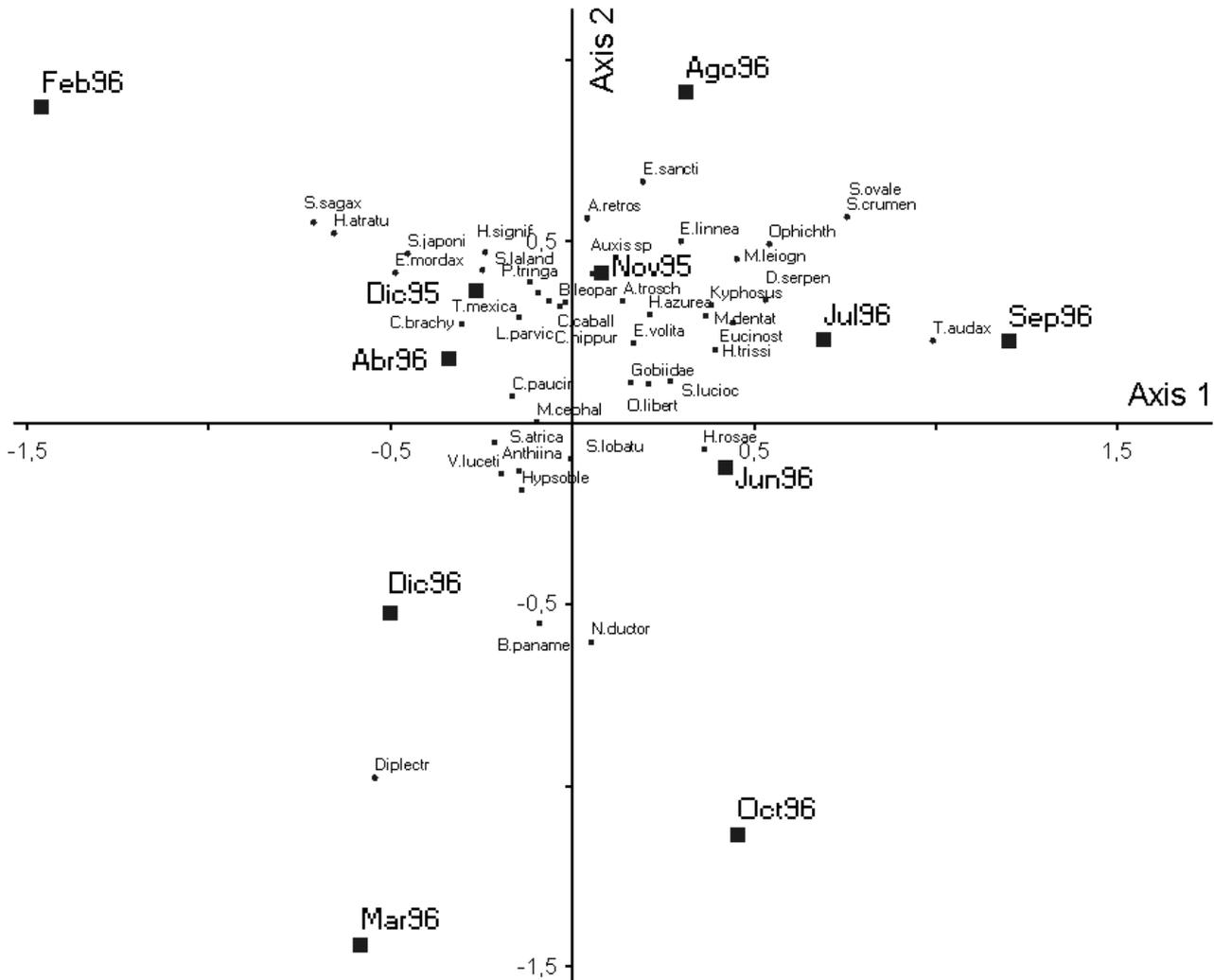


Figura 6. Escalamiento no métrico multidimensional (11 meses, 44 especies) de larvas de peces en EBES, Baja California Sur de noviembre de 1995 a diciembre de 1996.

La mecánica mediante el cual se produce la retención de larvas en el EBES es aún incierta. No obstante, las condiciones que permiten una dinámica inestable y mezcla son observadas en la punta de la montaña submarina, lo cual indica una perturbación mediante la interacción de las corrientes con su topografía (Trasviña-Castro *et al.*, 2003). Como información adicional la concentración de pigmentos sobre el bajo puede ser de cerca 2.00 mg m^{-3} , con respecto a sus alrededores (Santamaría del Ángel *et al.*, 1994). Al respecto, se conoce que en sistemas de vórtices topográficos, la generación de giros locales promueve el enriquecimiento de las aguas superficiales (Darnistky, 1985), e incluso funcionan mecánicamente como recolectores de plancton (Fedorov & Chistikov, 1985). Esto es importante por que en sitios como el EBES y Bajo Gorda, las agregaciones de plancton atraen peces pelágicos y a su vez a individuos del resto de la cadena alimenticia (Klimley *et al.*, 2005). Por ejemplo, en observaciones

de marcado de atún aleta amarilla mostraron dos tipos de comportamiento, uno de residencia con permanencia diaria y otro de estancias prolongadas con ausencias de aproximadamente 15 días (Muhlía-Melo *et al.*, 2003).

Si bien, la montaña submarina fue caracterizada por su alta diversidad y abundancia de larvas de peces, ésta no fue consistente a lo largo del año, lo cual sugiere en principio, una sucesión de especies relacionada con periodos reproductivos y en segundo lugar, la modificación en su estructura debido a procesos físicos vía corrientes superficiales, de acuerdo a las contribuciones de individuos larvales de origen costero y oceánico. La evaluación de los mecanismos de retención sobre la montaña requiere de estudios interdisciplinarios con el objeto de mostrar aspectos relacionados con la advección de corrientes y permanencia de los individuos.

AGRADECIMENTOS

Este estudio fue apoyado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) a través del proyecto (2600-N9509) y apoyo en infraestructura por el proyecto FONSEC-CONACYT 11716. R. González-Armas y R. Funes-Rodríguez son becarios SIBE-IPN. Las imágenes de satélite fueron procesadas por el MC. Eduardo González (CICESE).

REFERENCIAS

- ACEVES-MEDINA, G., A. HINOJOSA-MEDINA, S. P. A. JIMÉNEZ-ROSENBERG, R. FUNES-RODRÍGUEZ & R. SALDIERNA-MARTÍNEZ. 2004. Fish larvae assemblages in the Gulf of California. *Journal of Fish Biology* 65: 1-16.
- ALVAREZ-BORREGO, S. 1983. Gulf of California. In: Ketchum, B.H. (Ed.). *Ecosystems of the world. Volume on estuaries and enclosed seas*. Elsevier Scientific Publishing Company, pp. 427-449.
- AMADOR-BUENROSTRO, A., A. TRASVIÑA-CASTRO, A. MUHLIA-MELO & M.L. ARGOTE-ESPINOZA. 2003. Structure of the flow on the EBES seamount and the Farallon basin in the Gulf of California, November 1997. *Geofísica Internacional* 42(3): 407-418.
- BALDWIN, C. 1990. Morphology of the larvae of American Anthiinae (Teleostei: Serranidae), with comments on relationships within the Subfamily. *Copeia* 4: 955-960.
- BOEHLERT G. W. & A. GENIN. 1987. A review of the effects of seamounts on biological processes. In: Keating, B. H., P. Fryer, R. Batiza & G. W. Boehlert (Eds.). *Seamounts, islands and atolls. Geophysical Monographs* 43. American Geophysical Union, pp. 319-334.
- BOEHLERT, G. W., W. WATSON & L. C. SUN. 1992. Horizontal and vertical distributions of larval fishes around an isolated oceanic island in the tropical Pacific. *Deep-Sea Research* 39 (3/4): 439-466.
- BRAY, J. R. & J. T. CURTIS. 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monograph* 7: 325-349.
- CLARKE, K. R. & R. M. WARWICK. 2001. *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*. Plymouth, UK: Primer-E Ltd., Plymouth Marine Laboratory. 175 p.
- DARNITSKY, V. B. 1985. Some causes of variability in the bio and fish-productivity of the mesopelagial (near seamounts). From: Ministry of Fisheries of the U. S. S. R. All-Union Scientific Research Institute for Fisheries and Oceanography (VNIRO). Investigation and rational utilization of the bioresources of the open ocean (fishes of the mesopelagial). *Papers of the All-Union Conference*, Moscow. Translation 121 by W. G. Van Campen, SFCHL. National Marine Fisheries Service, NOAA, Honolulu, Hawaii 96822-2396, pp. 102-123.
- EMERY A. R. 1972. Eddy formation from an oceanic island: ecological effects. *Caribbean Journal of Science* 12: 121-128.
- EMILSSON, I. & M. A. ALATORRE. 1997. Evidencias de un remolino ciclónico de mesoescala en la parte sur del Golfo de California. In: Lavin, M. F. (Ed.). *Contribuciones a la oceanografía física en México*. Unión Geofísica Mexicana. Monografía 3, pp. 173-182.
- ETNOYER, P., D. CANNY, B. MATE & L. MORGAN. 2004. Persistent pelagic habitats in the Baja California to Bering Sea (B2B) ecoregion. *Oceanography* 17(1): 90-101.
- ETNOYER, P., D. CANNY, B. R. MATE, L.E. MORGAN, J. G. ORTEGA-ORTIZ & W. J. NICHOLS. 2006. Sea-surface temperature gradients across blue whale and sea turtle foraging trajectories off the Baja California peninsula, México *DeepSea Research II* 53: 340-358.
- FEDOROV, V. V. & S. D. CHISTIKOV. 1985. Landscapes of seamounts as indicators of the biological productivity of the surrounding waters. In: M. E. Vinogradov & M. V. Flint (Eds.). *Biological bases of the commercial exploitation of open areas of the ocean. Academy of Sciences of the U.S.S.R., Commission on Problems of the World Ocean, Nauka Publication, Moscow*. Translation 126 by W. G. Van Campen, SFCHL. National Marine Fisheries Service. NOAA, Honolulu, Hawaii 96822-2396, pp. 221-230.
- GONZÁLEZ-ARMAS, R. 2002. *Agregación de larvas de peces en el Bajo de Espíritu Santo en el Golfo de California, sus cambios en los patrones de distribución y los procesos oceanográficos que los influyen*. Tesis de Doctorado (Biología Marina). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., México. 163 p.
- GONZÁLEZ-ARMAS, R., R. PALOMARES-GARCÍA & R. DE SILVA DÁVILA. 2002. Copepod and macrozooplankton distribution associated to El Bajo Espíritu Santo seamount. In: M.E. Hendrickx (Ed.). *Contributions to the study of East Pacific Crustaceans*. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM, México, pp. 183-193.
- KLIMLEY, P. A. & D. R. NELSON. 1981. Schooling of the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini*, in the Gulf of California. *Fishery Bulletin* 79 (2): 356-360.
- KLIMLEY, P. A. & D. R. NELSON. 1984. Diel movement patterns of the scalloped hammerhead shark, (*Sphyrna lewini*) in relation to el Bajo Espíritu Santo: a refuging central-position social system. *Behavior Ecology Sociobiology* 15: 45-54.
- KLIMLEY, P. A. & S. B. BUTLER. 1988. Immigration and emigration of a pelagic fish assemblage to seamounts in the Gulf of California related to water mass movements using satellite imagery. *Marine Ecology Progress Series* 49: 11-20.
- KLIMLEY, P. A., S. B. BUTLER, D. R. NELSON & A. T. STULL. 1988. Diel movement of scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini* Griffith and Smith, to and from a seamount in the Gulf of California. *Journal of Fish Biology* 33: 751-761.
- KLIMLEY, P. A., J. E. RICHERT & S. J. JORGENSEN. 2005. The home of bluewater fish. *American Scientists* 93: 42-49.

- KRUSKAL, J. B. 1964. Nonmetric multidimensional scaling: a numerical method. *Psychometrika* 29: 115-129.
- LOYA-SALINAS, D. & A. ESCOFET. 1990. Contribution to the calculation of the biological value index (Sanders, 1960). *Ciencias Marinas* 16: 97-115.
- MALAKOFF, D. 2004. New tools reveal treasures at ocean hot spots. *Science* 304: 1104-1105.
- MCCUNE, B., J. B. GRACE & D. L. URBAN. 2002. *Analysis of ecological communities*. MjM Software Desing. Gleneden Beach, Oregon, USA. 300 p.
- MCCUNE, B. & M. J. MEFFORD. 1999. *Multivariate analysis of ecological data*. PC-ORD CD version 4.26 beta. MjM Software. Gleneden Beach, Oregon, USA. WWW page, <http://www.pcord.com>.
- MOSER, H. G. (Ed.). 1996. *The early stages of fishes in the California Current Region*. California Cooperative Fisheries Investigation Atlas 33. Allen Press, Inc., Lawrence, Kansas, USA. 1505 p.
- MOSER, H. G., E. H. AHLSTROM, D. KRAMER & G. H. STEVENS. 1973. Distribution and abundance of fish eggs and larvae in the Gulf of California. *California Cooperative Fisheries Investigation Report* 17: 112-128.
- MUHLIA-MELO, A., P. KLIMLEY, R. GONZÁLEZ-ARMAS, S. JORGENSEN, A. TRASVIÑA-CASTRO, J. RODRÍGUEZ-ROMERO & A. AMADOR-BUENROSTRO. 2003. Pelagic fish assemblages at the Espíritu Santo seamount in the Gulf of California during El Niño 1997-1998 and non-El Niño conditions. *Geofísica Internacional* 42(3): 473-481.
- NISHIKAWA, Y. 1991. On the melanophore patterns on lower jaw of the larvae of striped marlin. *Bulletin Natural Resources Institute For Seas Fisheries* 28: 15-19.
- NISHIKAWA, Y. & D. W. RIMMER. 1987. Identification of larval tunas, billfishes and other scombrid fishes (Suborder Scombroidei): an illustrated guide. *CSIRO Marine Laboratory Report* 186: 1-20.
- PEET, R. K. 1974. The measurement of species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 15: 285-307.
- ROBLES, J. M. & S. G. MARINONE. 1987. Seasonal and interannual termohaline variability of the Guaymas basin in the Gulf of California. *Continental Shelf Research* 7: 715-733.
- SANDERS, H. L. 1960. Benthic studies in Buzzard Bay. III. The structure of the soft-bottom community. *Limnology and Oceanography* 5: 138-153.
- SALA, E., O. ABURTO-OROPEZA, G. PAREDES, I. PARRA, J. C. BARRERA & P. K. DAYTON. 2002. A general model for designing networks of marine reserves. *Science* 298 (560): 1991-1993.
- SANTAMARÍA DEL ANGEL, E., S. ALVAREZ-BORREGO & F. E. MÜLLER-KRAGER. 1994. Gulf of California biogeographic regions based on coastal zone color scanner imagery. *Journal of Geophysical Research* 99: 7411-7421.
- TRASVIÑA-CASTRO, A., G. GUTIÉRREZ DE VELASCO, A. VALLE-LEVINSON, R. GONZÁLEZ-ARMAS, A. MULHIA & M. A. COSIO. 2003. Hydrographic observations of the flow in the vicinity of a shallow seamount top in the Gulf of California. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 57: 149-162.
- UEYANAGI, S. 1974. On additional diagnostic character for the identification of billfishes larvae with some notes on the variations in pigmentation. In: Shomura, R.S. & F. Williams (Eds.). *Proceedings of the international billfish symposium, Kailua-Kona, Hawaii, 9-12 August 1972*. Part 2. Review and contributed papers. U. S. Department of Commerce, NOAA. Technical Report NMFS. SSRF-675, Honolulu, Hawaii, pp. 73-78.
- WALKER, B. W. 1960. The distribution and affinities of the marine fish fauna of the Gulf of California. Symposium: The Biogeography of Baja California and Adjacent Seas. *Systematic Zoology* 9(3): 123-133.
- WOLANSKI, E. D. & W. M. HAMNER. 1988. Topographically controlled fronts in the ocean and their biological influence. *Science* 241: 177-181.
- YAMANAKA, H. 1986. Oceanographic studies of seamounts. In: Uchida N. R., S. Hayasi & G. W. Boehlert (Eds.). *Environment and resources of seamounts in the North Pacific. Proceedings of a workshop*. NOAA Technical Report NMFS 43. Seattle, WA., pp. 13-18.

Recibido: 8 de enero de 2007

Aceptado: 27 de noviembre 2007