



Copepod community structure in Bahía de Banderas during the 2008-2009 La Niña and their transition to the 2009-2010 El Niño

Estructura de la comunidad de copépodos de Bahía de Banderas durante La Niña 2008-2009 y su transición hacia El Niño 2009-2010

Jiménez-Pérez, L.C.

Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa, Departamento de Ciencias Biológicas, Centro de Investigaciones costeras. Ave. Universidad 203, Delegación Ixtapa, Puerto Vallarta, Jalisco. México.

ABSTRACT

In order to investigate the taxonomic copepod community structure and its relations with the climate conditions in the Pacific Ocean, bimonthly samples were made between February 2009 and April 2010. Samples were collected by vertical tows between the surface and the vicinity of the bottom with a 40 cm mouth diameter and 335 μ mesh size standard zooplankton net. At the beginning of the study water temperatures were low indicating that La Niña conditions prevailed in the bay. However, at the end of June, 2 °C warmer waters associated with El Niño 2009-2010 arrival were detected. These conditions persisted at least until February 2010, and by April water temperature returned to normal. 57 copepods species were recorded, being *Acartia tonsa*, *Acartia lilljeborgii*, *Oithona plumifera*, *Centropages furcatus* and *Nannocalanus minor* the most representative species. These five populations accounted most of the 90 % of the collected animals. Cluster and Non-Metric Multidimensional Scaling (NMDS) methods show two groups that seem to be associated with La Niña and El Niño conditions. The analysis of similarities (ANOSIM) indicated that these assemblages were different

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: January 30th 2015.

Accepted/Aceptado: April 6th 2015.

RESUMEN

Se realizaron colectas bimensuales del zooplancton entre febrero de 2009 y abril de 2010 para investigar la estructura taxonómica de las comunidades de copépodos y sus relaciones con las condiciones climáticas del Océano Pacífico. Las colectas se realizaron efectuando lances verticales entre las cercanías del fondo y la superficie, con una red estándar de 40 cm de diámetro de boca y 335 μ de luz de malla. Al inicio del estudio prevalecían condiciones de La Niña 2008-2009; sin embargo, a finales de junio se detectó la presencia de aguas aproximadamente 2 °C más cálidas de lo normal para esa época del año, indicando el arribo de El Niño 2009-2010. Estas condiciones prevalecieron hasta febrero de 2010, pues en abril se notó un retorno a condiciones normales. Se registraron 57 especies de copépodos, siendo *Acartia tonsa*, *Acartia lilljeborgii*, *Oithona plumifera*, *Centropages furcatus* y *Nannocalanus minor* las más representativas al representar el 90 % de los copépodos capturados. La aplicación de análisis de agrupamientos y Escalamiento Multidimensional no métrico (NMDS) pusieron en evidencia un patrón temporal al formar dos grupos principales que parecen estar relacionados con el predominio de condiciones Niña y Niño, respectivamente. El análisis de similitudes (ANOSIM) indicó que las diferencias entre ambos grupos fueron significativas ($r=0.411$; $p=0.1$ %). El Análisis de Similitud Porcentual indicó que el grupo de La Niña se registró una dominancia

*Corresponding Author:

Jiménez-Pérez, L.C. Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa, Departamento de Ciencias Biológicas, Centro de Investigaciones costeras. Ave. Universidad 203, Delegación Ixtapa, Puerto Vallarta, Jalisco. México. E-mail.: ljimenez@cuc.udg.mx

($r=0.411$; $p=0.01$ %). Simper analysis indicated that *A. tonsa* was the dominant population (85.4 %) at the end of the 2008-2009 La Niña; this population was followed by *A. lilljeborgi* (7.9 %) and *Pareucalanus subtenus* (2.5 %). During the El Niño the dominance of *A. tonsa* disappeared (32 %) while *Oithona plumifera*, *Temora discaudata* and *Undinula darwinii* increased. At the end of El Niño, species diversity and richness also changed. At the end of the 2008-2009 La Niña conditions, 40 species were recorded, while during El Niño the species richness increased to 52 species.

KEY WORDS

Copepods, diversity, abundance, Bahía de Banderas, El Niño.

Introduction

The study of marine copepods from the central region of the tropical Mexican Pacific is one of the areas of knowledge that least scientific attention has received, despite the fact it is essential to understand the fluctuations of planktonic communities and ecosystems (Beaugrand *et al.*, 2000). Until recently, the only studies on this group are limited to those performed by Suarez-Morales *et al.*, (2000) and Gomez-Aguirre (2001). The first contains a list of copepods species detected in the continental platform of Jalisco during a cruise made in September 1990 and a classification of their communities besides of an estimation of species diversity. On the other hand, the other study analyzes migratory behavior of *Acartia tonsa* and *Acartia lilljeborgi* in the coast zone of San Blas Bay, Nayarit, during the sun eclipse on July 11th 1991. However, in recent time Kozak *et al.*, (2014) performed a wide study on copepods from the most part of the continental platform in the Coast of Jalisco, but it did not include the coastal areas as Bahía de Banderas in the sampling program.

Relations between variations of climate conditions and abundance have been researched in other regions of the Pacific, including the diversity of species of copepods communities. This effort has been particularly important in the region of the California Current, where the occurrence of El Niño is associated with changes in structure and abundance of copepods communities (Mackas and Gailbraith 2002; Hopcroft *et al.*, 2002; Peterson and Keis-

de *A. tonsa* (85.4 %), así como cierta abundancia de *A. lilljeborgii* (7.9 %) y *Subeucalanus subtenus* (2.5 %). En contraste, en el grupo El Niño, la dominancia de *A. tonsa* desapareció (32 %), mientras que *Oithona plumifera*, *Temora discaudata* y *Undinula darwinii* aumentaron. La diversidad y riqueza de especies también cambiaron de manera significativa. Por ejemplo, a finales de La Niña se registraron 40 especies, pero durante El Niño se registraron 52 especies.

PALABRAS CLAVE

Copépodos, Diversidad, abundancia, Bahía de Banderas, El Niño.

Introducción

El estudio de los copépodos marinos de la región central del Pacífico tropical mexicano es una de las áreas del conocimiento que menos atención científica ha recibido, a pesar de que este conocimiento es esencial para entender las fluctuaciones de las comunidades planctónicas y los ecosistemas (Beaugrand *et al.*, 2000). Hasta hace poco los únicos estudios sobre este grupo se limitan a los efectuados por Suarez-Morales *et al.*, (2000) y Gómez-Aguirre (2001). El primero contiene un listado de especies de copépodos detectadas en la plataforma continental de Jalisco durante un crucero efectuado en septiembre de 1990, así como una clasificación de sus comunidades y una estimación de la diversidad de especies. Por su parte, el otro estudio analiza el comportamiento migratorio de *Acartia tonsa* y *Acartia lilljeborgi* en la zona costera de la Bahía de San Blas, Nayarit durante el eclipse de sol del 11 de julio de 1991. Sin embargo, recientemente Kozak *et al.*, (2014) efectuaron un estudio muy amplio de los copépodos de la mayor parte de plataforma continental de la costa de Jalisco, pero no incluyó las áreas costeras como Bahía de Banderas en su programa de muestreo.

En otras regiones del Pacífico se han investigado las relaciones entre las variaciones de las condiciones climáticas y la abundancia, así como la diversidad de especies de las comunidades de copépodos. Este esfuerzo ha sido particularmente importante en la región de la Corriente de California, donde se ha demostrado que la ocurrencia de El Niño está asociada con cambios en la estructura y abundancia de las comunidades de copépodos (Mackas y Gailbraith 2002; Hopcroft *et al.*, 2002; Peterson y Keister, 2003; Jiménez-Pérez y Lavaniegos, 2004; Hooff y Peterson,

ter, 2003; Jiménez-Pérez and Lavaniegos, 2004; Hooff and Peterson, 2006). In the tropical Mexican Pacific, the presence of El Niño has also been associated with changes in the composition and abundance (Jiménez-Pérez and Lara-Lara, 1988; Palomares-García and Gómez-Gutiérrez, 1996, Lavaniegos and González-Navarro, 1999, Hernández-Trujillo *et al.*, 2003; Kozak *et al.*, 2014). However, despite these efforts, relationship between many biological parameters of the community structure of coastal zooplankton with environmental variations remains unknown.

One of the key biological parameters in the structure of marine communities is biodiversity (Williamson, 1997; Fock, 2000). The concept of diversity of species has been intensely debated, due to the many semantic, conceptual and technical problems (Hurlbert, 1971). Nevertheless, despite these debates, diversity of species remains to be considered one of the most important properties in the structure of the communities (Fock, 2000). Diversity of species of a community is composed by two components. The first is the number of species (S) and is called species richness. The second is the form in which abundances of those species is distributed (equity).

In the last decades, the estimations of species diversity have been used as an indicator of climate changes (Beaugrand *et al.*, 2000; Beaugrand *et al.*, 2001). However, there are few studies of species diversity of copepods in the tropical Mexican Pacific and their relations with climate change. For example, in the Southern part of the California Current, occurrence of this event has been associated with an increase in the richness and diversity of species of copepods (Hernández-Trujillo (1991a; 1995), it has been found that the occurrence of El Niño is associated with an increase in the richness of these species of copepods from the coast of Jalisco (Kozak *et al.*, 2014). However, these investigations were performed in the continental platform and zones with a strong oceanic influence. Therefore, there is no information on the structure and diversity of species in the copepods communities in the coast areas of the central region of the Mexican Pacific. In this investigation, an analysis of the structure in the copepods community in Bahía de Banderas was performed, during the period when a quick transition of typical cold conditions of La Niña 2007-2009 was presented (McClatchie *et al.*, 2009) towards a short and relatively weak El Niño 2009-2010 (Bjorkstedt *et al.*, 2010).

2006). En el Pacífico tropical Mexicano, la presencia de El Niño también ha sido asociada con cambios en la composición y abundancia (Jiménez-Pérez y Lara-Lara, 1988; Palomares-García y Gómez-Gutiérrez, 1996, Lavaniegos y González-Navarro, 1999, Hernández-Trujillo *et al.*, 2003; Kozak *et al.*, 2014) Sin embargo, a pesar de estos esfuerzos, aun se desconocen las relaciones de muchos parámetros biológicos de la estructura de las comunidades del zooplancton costero con las variaciones ambientales.

Uno de los parámetros biológicos clave en el análisis de la estructura de las comunidades marinas es la biodiversidad (Williamson, 1997; Fock, 2000). El concepto de diversidad de especies ha sido intensamente debatido, debido a los muchos problemas semánticos, conceptuales y técnicos (Hurlbert, 1971). Sin embargo, a pesar de esos debates, la diversidad de especies sigue siendo considerada una de las propiedades más importantes en la estructura de las comunidades (Fock, 2000). La diversidad de especies de una comunidad está compuesta por dos componentes. La primera es el número de especies (S) y se denomina riqueza de especies. La segunda es la forma en que las abundancias de esas especies se distribuye (equidad).

En las últimas décadas las estimaciones de la diversidad de especies han sido utilizadas como un indicador de cambios climáticos (Beaugrand *et al.*, 2000; Beaugrand *et al.*, 2001). Sin embargo, hay pocos estudios de la diversidad de especies de los copépodos del Pacífico tropical Mexicano y sus relaciones con los cambios climáticos. Por ejemplo, en la parte sur de la Corriente de California, la ocurrencia de este evento ha sido asociado con un incremento de la riqueza y diversidad de especies de los copépodos (Hernández-Trujillo (1991a; 1995), y se ha encontrado que la ocurrencia de El Niño está asociada con un incremento en la riqueza de especies de los copépodos de la costa de Jalisco (Kozak *et al.*, 2014). Sin embargo, estas investigaciones se realizaron en la plataforma continental y zonas con una fuerte influencia oceánica. Por lo tanto no se tiene información de la estructura y diversidad de especies de las comunidades de los copépodos de las áreas costeras de la región central del Pacífico mexicano. En esta investigación se hace un análisis de la estructura de la comunidad de los copépodos de Bahía de Banderas, durante el periodo donde se presentó una rápida transición de las condiciones frías típicas del evento de La Niña 2007-2009 (McClatchie *et al.*, 2009) hacia un corto y relativamente débil El Niño 2009-2010 (Bjorkstedt *et al.*, 2010).

Methodology

Bahía de Banderas (BadeBa) is located in the central Mexican Pacific among $20^{\circ} 07'$ and $21^{\circ} 08'$ N and $105^{\circ} 10'$ and $105^{\circ} 45'$ W. BadeBa constitutes one of the largest bays from the tropical Mexican Pacific; it has an approximate extension of $1,400 \text{ km}^2$, product of its 32 km of average width in the north-south axis and a length of almost 42 km in the east-west direction. The North part of the bay is shallow, but the depth increases gradually towards Southeast, until it reaches a maximum depth of 1,436 m in a "trench" that is located in front of the coast of the Rivers Quimixto and Yelapa (Maldonado-Villanueva, 2011). Geomorphology of the coast is characterized by presenting two zones: in the north coast there are wide plains, low relief and sandy narrow beaches, while in the south part steep and rocky canyons with high coast reliefs covered by foliage from the deciduous tropical forest (Ramírez-Delgado and Cupul-Magaña, 1999).

BadeBa is an ecosystem of oceanic nature, which is influenced by several masses of water; in winter and spring, some remnants from the California Current and the subtropical water of the reflux from the California Gulf manifest, while the influence of the Mexican Coast Current predominates the rest of the year (Wyrki, 1965; Kessler, 2006; Lavín *et al.*, 2006). Between February and May, the dynamics and productivity of coast waters are highly affected by the occurrence of upwellings in the region of Cabo Corriente (Torres-Orozco *et al.*, 2005; López-Sandoval *et al.*, 2009a, 2009b), as well as the presence of other processes of mesoscale, such as whirlwinds and thermal fronts (Zamudio *et al.*, 2007; Godínez *et al.*, 2010). Oceanic circulation presents an interannual variability that is influenced by the effects of the cycle El Niño/Austral Oscillation (ENSO) (Lavín *et al.*, 2006). Between May and November, the region is exposed to the action of cyclones from the Northeast Tropical Pacific (Zamudio *et al.*, 2002). Water circulation of the bay is predominant towards northeast between June to November (Moncayo *et al.*, 2006), and towards South and Southeast during the rest of the year (Carriquiry and Reyes, 1997). In addition, waters from the bay present a strong influence of several rivers, standing out the Rio Ameca, which waters flow all year and the Rio Cuale that crosses Puerto Vallarta (Figure 1). The magnitude of the runoffs varies depending on the dry or rainy season. Water discharge from the Rio Ameca are estimated between <1 and $288.6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, Tomatlán between 2.9 and $20.5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, Mismaloya between 0.2 and $3.6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, Cuale between 1.9 and $22.2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Maldonado-Villanueva, 2011).

Metodología

Bahía de Banderas (BadeBa) se localiza en el Pacífico central mexicano entre los $20^{\circ} 07'$ y $21^{\circ} 08'$ N y $105^{\circ} 10'$ y $105^{\circ} 45'$ W. BadeBa constituye una de las bahías más grandes del Pacífico tropical mexicano; tiene una extensión aproximada de $1,400 \text{ km}^2$, producto de sus 32 km de anchura promedio en el eje norte-sur y una longitud de casi 42 km en el sentido este-oeste. La parte Norte de la bahía es somera, pero la profundidad se incrementa gradualmente hacia el Suroeste, hasta alcanzar una profundidad máxima de 1,436 m en una "fosa" que se localiza frente a las costas de los ríos Quimixto y Yelapa (Maldonado-Villanueva, 2011). La geomorfología de la costa se caracteriza por presentar dos zonas: en la costa norte existen planicies anchas, bajo relieve y estrechas playas arenosas, mientras que en la parte sur sobresalen los cañones escarpados y rocosos con relieves costeros altos cubiertos por el follaje del bosque tropical caducifolio (Ramírez-Delgado y Cupul-Magaña, 1999).

BadeBa es un ecosistema de naturaleza oceánica, que es influenciado por varias masas de agua; en invierno y primavera se manifiestan algunos remanentes de la Corriente de California, y del agua subtropical del reflujó del Golfo de California, mientras que el resto del año predomina la influencia de la Corriente Costera Mexicana (Wyrki, 1965; Kessler, 2006; Lavín *et al.*, 2006). Entre febrero y mayo, la dinámica y productividad de las aguas costeras es fuertemente afectada la ocurrencia de surgencias en la región de Cabo corriente (Torres-Orozco *et al.*, 2005; López-Sandoval *et al.*, 2009a, 2009b), así como por la presencia de otros procesos de mesoescala, tales como remolinos y frentes térmicos (Zamudio *et al.*, 2007; Godínez *et al.*, 2010). La circulación oceánica presenta una variabilidad interanual que es influenciada por los efectos del ciclo El Niño/Oscilación Austral (ENSO) (Lavín *et al.*, 2006). Entre mayo y noviembre la región está expuesta a la acción de los ciclones del Pacífico Tropical Nororiental (Zamudio *et al.*, 2002). La circulación de las aguas de la bahía es predominante hacia el noroeste entre junio a noviembre (Moncayo *et al.*, 2006), y hacia el sur y suroeste durante el resto del año (Carriquiry y Reyes, 1997). Además, las aguas de la bahía presentan una fuerte influencia de varios ríos, entre los que sobresale el Río Ameca cuyas aguas fluyen todo el año y el río Cuale que atraviesa Puerto Vallarta (Figura 1). La magnitud de los escurrimientos varía dependiendo de las épocas de secas y lluvias. Se ha estimado que las descargas del Río Ameca entre <1 y $288.6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, Tomatlán entre 2.9 y $20.5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, el río Mismaloya entre 0.2 y $3.6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, Cuale entre 1.9 y $22.2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Maldonado-Villanueva, 2011).

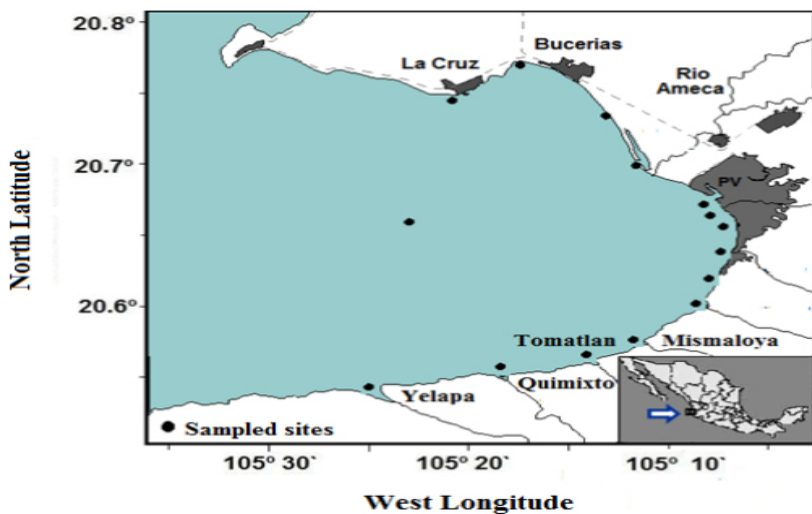


Figure 1. Localization of sampled most important sites, rivers and settlements.

Figura 1. Localización de los sitios muestreados, ríos y poblados más importantes.

Bimonthly samples of zooplankton were collected in 15 stations located along the coast (Figure 1) between February 2009 and April 2010. Samples were collected between 8:30 a.m. and 2:00 p.m., by vertical trawls between the closeness of the bottom and the surface, with a 40 cm mouth diameter and 335 μ mesh size standard zooplankton net, with a TSK flowmeter previously calibrated. In almost all sampling stations, depth of the trawls varied between six and seven meters, only in the center of the bay, the sampling was made between 10 m and the surface. While zooplankton samples were being collected, superficial water temperature was determined using a bucket thermometer Kahlsico with a range of 5-50 °C and precision of 0.2 °C.

Biological material was preserved in 4 % formalin, deposited in plastic jars previously labeled and transferred to the lab. For the taxonomic analysis of the samples in most of the times all of the sample was analyzed. Only in six samples a subsampling was used using a Stempel pipette to prepare the subsamples due to the great amount of collected material; those samples were placed in front of the beaches of Nuevo Vallarta and Puerto Vallarta Marine (February and April 2009), Yelapa (June) and the mouth of the Tomatlan River. Organisms contained in the subsamples were deposited in a reticulated Petri box, identified and counted with the help of a stereoscopic microscope and a composed microscope.

Se recolectaron muestras bimensuales de zooplancton en 15 estaciones situadas a lo largo de la costa (Figura 1) entre febrero de 2009 y abril de 2010. Las muestras se recolectaron entre las 8:30 A. M y las 14:00 P. M., mediante arrastres verticales entre las cercanías del fondo y la superficie, con una red estándar de 40 cm de diámetro de boca y 335 μ de luz de malla equipada con un flujómetro TSK previamente calibrado. En casi todas las estaciones de muestreo la profundidad de los arrastres varió entre los seis y siete metros, solo en el centro de la bahía se muestreó entre 10 m y la superficie. Mientras se recolectaban las muestras de zooplancton se determinó la temperatura superficial del agua con un termómetro de cubeta Kahlsico de rango 5-50 °C y precisión de 0.2 °C.

El material biológico fue preservado con formol al 4 %, depositado en frascos de plástico previamente etiquetados y transferido al laboratorio. Para el análisis taxonómico de las muestras casi siempre se analizó toda la muestra. Solo en seis muestras se recurrió al submuestreo utilizando una pipeta Stempel para preparar submuestras debido a la gran cantidad de material recolectado; esas muestras fueron las ubicadas frente a las playas de Nuevo Vallarta y la Marina de Puerto Vallarta (febrero y abril de 2009), Yelapa (junio) y desembocadura del río Tomatlán. Los organismos contenidos en las submuestras fueron depositados en una caja de Petri reticulada, identificados y contados con la ayuda de un microscopio estereoscópico

The identification of the copepods species was made by taking as reference the studies of Grice (1961), Brodsky (1950), Dawson and Knatz (1980), Palomares *et al.*, (1998) and Razouls *et al.*, (2012). From the counting, estimations of abundance were performed, which were standardized at 1 m³ of filtered water.

Statistical analysis: to characterize the structure of the copepods communities, three strategies were used. The first consisted in analyzing the temporary patterns of abundance of the copepods as a group and comparing the density of copepods from the collected samples during La Niña conditions, with those recollected in El Niño conditions, by applying "t student test". As in this case density data were not normal nor did they fulfilled the homogeneity condition of variance, this test was performed with the logarithmic transformations (log x) of the data. Sampling classification in one or another group was made by carrying a follow-up via internet of the monthly forecasts from the Climate Prediction Center of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

The second strategy consisted in selecting dominant species and with abundance data, proceed to analyze the structure of the community using several multivariate statistic methods contained in the PRIMER (Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research) package. Dominant species are considered those that altogether contributed with 90 % of the global similarity determined by the percentage similarity analysis of all collected samples (Simper). This strategy started with the exploratory analysis of data, by generating a similitude matrix based in the estimation of the Bray-Curtis index, to execute the grouping analysis applying the hierarchic conglomerate method using the option of average group linking (Clarke and Warwick, 2001). To complete this exploratory analysis, with the same similitude matrix a non-dimensional multidimensional scaling analysis (NMDS) was applied. This procedure creates a configuration of points in a plane, where distance amongst themselves is approximate to the estimated dissimilarities. The advantage of this method in respect to the dendrogram is that all objects are compared together, more than in individual pairs. However, there is a degree of "stress" by forcing the order in the Cartesian plane. NDMS stress is equivalent to the variance between two ranges ordered by distance and similarity; ideally, the minimum stress must be <0.1. The dendrogram obtained in

y un microscopio compuesto. La identificación de las especies de los copépodos se realizó tomando como referencia los trabajos de Grice (1961), Brodsky (1950), Dawson y Knatz, 1980, Palomares *et al.*, (1998) y Razouls *et al.*, (2012). A partir de los conteos se efectuaron estimaciones de abundancia, mismas que fueron estandarizadas a 1 m³ de agua filtrada.

Análisis estadístico: Para caracterizar la estructura de las comunidades de copépodos se utilizaron tres estrategias. La primera fue analizar los patrones temporales de la abundancia de los copépodos como grupo y comparar la densidad de copépodos de las muestras recolectadas durante condiciones de La Niña, con las recolectadas en condiciones Niño, aplicando una prueba "t de student". Como en este caso los datos de densidad no fueron normales ni cumplían con la condición de homogeneidad de varianzas, esta prueba se efectuó con las transformaciones logarítmicas (log x) de los datos. La clasificación de las muestras en un u otro grupo se efectuó haciendo un seguimiento vía internet, de los pronósticos mensuales del Climate Prediction Center de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

La segunda estrategia fue seleccionar las especies dominantes y con estos datos de abundancia, proceder a analizar la estructura de la comunidad usando varios métodos estadísticos multivariados contenidos en el paquete PRIMER (Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research). Se consideraron como especies dominantes aquellas que en conjunto, contribuyeron con el 90 % de la similitud global determinada por el análisis de similitud porcentual de todas las muestras recolectadas (Simper). Esta estrategia empezó con el análisis exploratorio de los datos, al generar una matriz de similitud basada en la estimación del índice de Bray-Curtis para efectuar los análisis de agrupamientos aplicando el método de conglomerados jerárquicos utilizando la opción de enlace promedio de grupo (Clarke y Warwick, 2001). Para complementar este análisis exploratorio, con esta misma matriz de similitud se aplicó un análisis no dimensional de escalamiento multidimensional (NMDS). Este procedimiento crea una configuración de puntos en un plano, donde la distancia entre los mismos se aproxima a las disimilaridades estimadas. La ventaja de este método respecto al dendrograma es que todos los objetos son comparados juntos, más que en pares individuales. Sin embargo, existe un grado de "estrés" al forzar el ordenamiento en el plano cartesiano. El estrés en el NMDS equivale a la varianza entre dos rangos ordenados por distancia y similitud; idealmente el mínimo estrés

the analysis of groupings, as well as the NMDS configuration, were analyzed to identify clusters. To determine if the differences observed between those groups were real, the analysis of similarities (ANOSIM) was applied as discriminant analysis. When those differences were significant, this analysis was followed by a similarity percentage analysis (SIMPER), procedure that determines the contribution of each species, calculating the average dissimilarity of Bray-Curtis ($\delta = 100 - d_{\text{Bray-Curtis}}$) amongst all sampling pairs.

The third strategy used consisted in analyzing the temporary variations of diversity of species and their relations with the richness of species (S) and equity. Species diversity was determined by the estimation of the Shannon index, while equity amongst their elements was estimated by calculating the "J" index of Pielou (Brower and Zar, 1977). Richness of species was estimated as the number of species recorded in each campaign (S). To compare the monthly averages of diversity indexes, J of Pielou and richness of species, one way variance analyses were used, as well as contrasts *a posteriori* with Tukey test. Relations between water temperature, abundance of copepods and diversity of species were determined by the analysis of multiple lineal regression. Due to the lack of normality in abundance data distribution, logarithmic transformation [$\ln(x+1)$] was used.

Results and Discussion

Obtained results in this study show changes in abundance and taxonomic structure of the copepods community in this part of the Tropical Mexican Pacific that seem to be related with the sequence of physical changes in the marine environment, associated with the occurrence of La Niña 2008–2009 and its transition to El Niño 2009–2010. In addition, there is evidence that indicates that habitat differences and upwelling activity also play an important role in the structure and functioning of communities. Temperature measurements allowed to detect environmental changes associated with the transition of La Niña 2008-2009 towards El Niño 2009-2010.

Surface temperature of the water presented a very sharp temporal variation, under 26 °C in February and April 2009, as well as a quick warming in June, which reached its highest at 31.8 ± 1.5 °C in August (Figure 2). From October 2009, a tendency to decrease was

debería ser <0.1. El dendrograma obtenido en el análisis de agrupamientos, así como la configuración del NMDS fueron analizados para identificar agrupaciones. Para determinar si las diferencias observadas entre esos grupos eran reales, se aplicó el análisis de similitudes (ANOSIM) como análisis discriminante. Cuando esas diferencias fueron significativas, este análisis fue seguido por un análisis del porcentaje de similitud (SIMPER), procedimiento que determina la contribución de cada especie, calculando la disimilitud promedio de Bray-Curtis ($\delta = 100 - d_{\text{Bray-Curtis}}$) entre todos los pares de muestras.

La tercera estrategia utilizada fue analizar las variaciones temporales de la diversidad de especies y sus relaciones con la riqueza de especies (S) y equidad. La diversidad de especies fue determinada mediante la estimación del índice de Shannon, mientras que la equidad entre sus elementos fue estimada calculando el índice "J" de Pielou (Brower y Zar, 1977). La riqueza de especies fue estimada como el número de especies registrada en cada campaña (S). Para comparar los promedios mensuales de los índices de diversidad, J de Pielou y riqueza de especies se usaron análisis de varianza de una vía, así como contrastes *a posteriori* con la prueba de Tukey. Las relaciones entre la temperatura del agua, abundancia de copépodos y la diversidad de especies se determinaron mediante el análisis de regresión lineal múltiple. Debido a la falta de normalidad en la distribución de los datos de abundancia, se utilizó la transformación logarítmica [$\ln(x+1)$].

Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio muestran cambios en la abundancia y estructura taxonómica de la comunidad de copépodos de esta parte del Pacífico Tropical Mexicano que parecen estar relacionados con la secuencia de cambios físicos del ambiente marino asociados con la ocurrencia de La Niña 2008-2009 y su transición hacia El Niño 2009-2010. Además, contienen evidencias que indican que las diferencias de hábitat y la actividad de las surgencias también juegan un papel importante en la estructura y funcionamiento de las comunidades. Por un lado, las mediciones de temperatura permitieron detectar los cambios ambientales asociados con la transición de La Niña 2008-2009 hacia El Niño 2009-2010.

La temperatura superficial de las aguas presentó una variación temporal muy marcada, con por debajo de los 26 °C en febrero y abril de 2009, así como un rápido calentamiento

recorded, which reached the lowest values during the last two months of sampling. Low temperature of the water detected in February and April 2009 indicates a clear influence in the environmental conditions prevailing at the end of La Niña 2008-2009 (McClarchie *et al.*, 2009). In contrast, the fast seasonal warming detected in June, and its persistence until October 2009, indicates the combined effect of seasonal warming and the arrival of El Niño 2009-2010 (Bjorkstedt *et al.*, 2010). Whereas the decrease of temperature in the last sampling months suggest the effect of seasonal change and the weakening of El Niño.

Abundance of copepods also presented important temporary changes by presenting high values during La Niña conditions and a marked decrease during El Niño (Figure 3). The low abundance detected in February and the increase detected in April and June 2009 constitutes an effect of the seasonal change where the typical winter conditions of the North Pacific are combined (Miller, 2004), and the activation of the centers of upwellings that have been reported in "Cabo Corrientes" during this time of year (Roden, 1972; Torres-Orozco *et al.*, 2005; López-Sandoval *et al.*, 2009). In addition, the high abundance of copepods that result from this effect can be attributed in part to the persistence of La Niña 2008-2009, since this conditions favor the development of this type of events (Hayward *et al.*, 1999; Lavaniegos-Espejo *et al.*, 2002). In

to en junio, mismo que alcanzó su máximo de 31.8 ± 1.5 °C en agosto (Figura 2). A partir de octubre de 2009 se registró una tendencia a disminuir, que alcanzó los valores más bajos los dos últimos meses muestreados. La baja temperatura del agua detectada en febrero y abril de 2009 indica una clara influencia de las condiciones ambientales prevalecientes al final del fenómeno de La Niña 2008-2009 (McClarchie *et al.*, 2009). En contraste, el rápido calentamiento detectado en Junio, y su persistencia hasta octubre de 2009, indica el efecto combinado del calentamiento estacional y el arribo de El Niño 2009-2010 (Bjorkstedt *et al.*, 2010). Por su parte, la disminución de la temperatura de los últimos meses muestreados, sugiere el efecto del cambio estacional y el debilitamiento de El Niño.

La abundancia de los copépodos también presentó cambios temporales importantes al presentar valores altos durante condiciones de La Niña, un marcado descenso durante condiciones de El Niño (Figura 3). La baja abundancia detectada en febrero y el incremento detectado en abril y junio de 2009 constituye un efecto del cambio estacional donde se combinan las típicas condiciones de invierno del Pacífico norte (Miller, 2004), y la activación de los centros de surgencias que han sido reportados en "Cabo Corrientes" durante esta época del año (Roden, 1972; Torres-Orozco *et al.*, 2005; López-Sandoval *et al.*, 2009). Además, la alta abundancia de copépodos que resultan de este efecto puede ser atribuida en parte, a la persistencia de La Niña 2008-2009, pues estas condiciones favorecen el desarrollo de estos eventos (Hayward *et al.*, 1999; Lavaniegos-Espejo

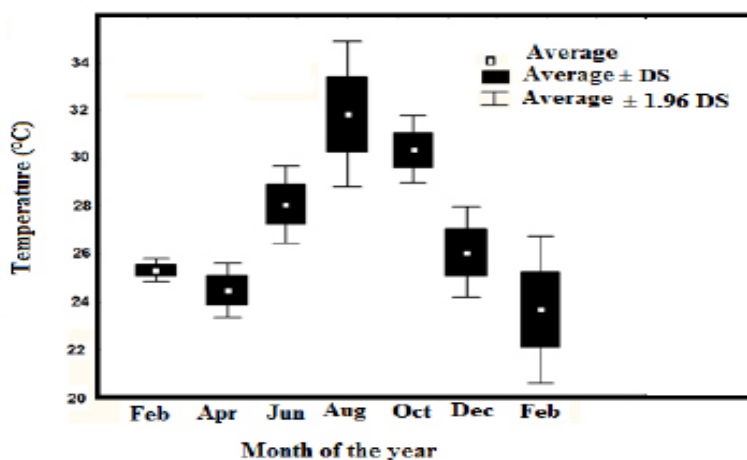


Figure 2. Variability of the temperature in superficial waters.

Figura 2. Variabilidad de la temperatura de las aguas superficiales.

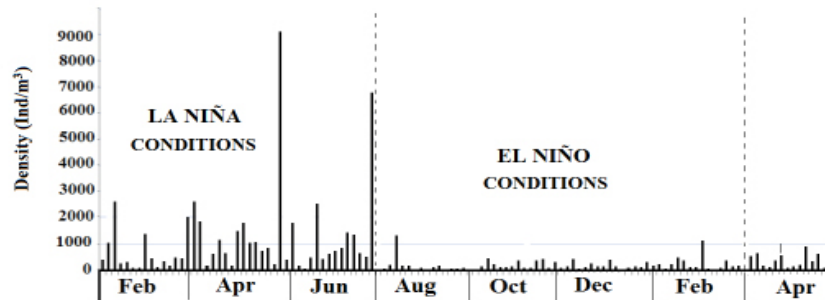


Figure 3. Variability of abundance of copepods between February 2009 and April 2010.

Figura 3. Variabilidad de la abundancia de los copépodos entre febrero de 2009 y abril de 2010.

contrast, the decrease recorded between August and October indicates a strong effect associated with the arrival of El Niño 2009-2010. On the other hand, the light recovery in April 2010 (Figure 3) seems to be associated with the finalization of El Niño 2009 – 2010 (Bjorkstedt *et al.*, 2010). In general, difference between the abundances of copepods from the collected samples during La Niña and El Niño conditions were significant ($r=7.633$; $p<0.001$). Abundance levels of copepods detected in La Niña represented one order of magnitude higher than those reported by Suarez-Morales *et al.*, (2000) during September in the continental platform of Jalisco. However, those detected in August and October were of the same order of magnitude than those reported by these researchers. On the other hand, abundance levels of copepods detected in April are also one order of magnitude higher than those reported in March-April 1980 and 1981 in the Gulf of Tehuantepec by Fernández-Álamo *et al.*, (2000). In this time, upwelling events are intense in the Gulf of Tehuantepec (Farber-Lorda *et al.*, 2004); therefore, it could be expected that copepods abundances reported by these researchers were similar to our data. Higher abundance of copepods in Bahía de Banderas constitute an indicator of the importance of upwellings in the fertilization of the waters of Bahía de Banderas.

The high levels of abundance detected in April and June in Bahía de Banderas seem to be related with the fertilization of the waters caused by the upwelling events reported in the region (Torres-Orozco *et al.*, 2005; López-Sandoval *et*

et al., 2002). En contraste, la disminución registrada entre agosto y octubre indica un fuerte efecto asociado con el arribo de El Niño 2009-2010. Por su parte, la ligera recuperación de abril de 2010 (Figura 3) parece estar asociada con la finalización de El Niño 2009-2010 (Bjorkstedt *et al.*, 2010). En general, las diferencias entre las abundancias de copépodos de las muestras recolectadas durante condiciones Niña y El Niño fueron significativas ($r=7.633$; $p<0.001$). Los niveles de abundancia de copépodos detectados en condiciones Niña fueron cuando menos un orden de magnitud más altos que los reportados tanto por Suarez-Morales *et al.*, (2000) durante septiembre en la plataforma continental de Jalisco. Sin embargo, los detectados en agosto y octubre fueron del mismo orden de magnitud que los reportados por esos investigadores. Por otra parte, los niveles de abundancia de copépodos detectados en abril también son un orden de magnitud más altos que los reportados en marzo-abril de 1980 y 1981 en el Golfo de Tehuantepec por Fernández-Álamo *et al.*, (2000). En esa época, los eventos de surgencia son intensos en el Golfo de Tehuantepec (Farber-Lorda *et al.*, 2004); por lo tanto se podría esperar que las abundancias de copépodos reportadas por estos investigadores fueran similares a nuestros datos. La mayor abundancia de copépodos en Bahía de Banderas constituye un indicador de la importancia de las surgencias en la fertilización de las aguas de Bahía de Banderas.

Los altos niveles de abundancia detectados en abril y junio en Bahía de Banderas parecen estar relacionados con la fertilización de las aguas causada por los eventos de sur-

et al., 2009a, 2009b). The association between the increase in copepods abundance and the activation of upwellings during La Niña were evident when a negative relation between temperature and copepods abundance was found ($r^2 = -0.177$; $p = 0.05$).

Grouping analysis revealed that temporary changes detected in the abundance of copepods were also reflected in the structure of the community (Figure 4). In the higher grouping level (level 1), samples were separated into two large groups and two small ones (groups A and B). One of the large groups was mainly integrated by the samples collected during El Niño conditions, while the other mainly by those collected in La Niña conditions. The group of El Niño included 55 of the 60 samples collected between August 2009 and February 2010, while La Niña group was integrated by 32 of the 45 samples collected between February and June, dates when La Niña conditions prevailed and there was a transition towards El Niño. 10 of the 15 samples collected when El Niño finished were integrated to La Niña group, while 5 to El Niño group. Both small groups were integrated by stations situated in the central and southern part of the bay, zones where there is a higher oceanic influence. Group A was integrated by samples collected in February 2010 in the center of the bay, Yelapa and Quimixto, while group B by those collected in December 2009 in the stations located in front of the towns Yelapa, Quimixto and Tomatlán.

The separation of the two small groups A and B, mainly constituted by oceanic stations, from the groups La Niña and El Niño, indicate the effect of habitat differences. This separation of oceanic and coast stations was found by Fernández-Álamo *et al.*, (2000) when analyzing the community of copepods in the Gulf of Tehuantepec during March 1978, as well as by Suárez Morales *et al.*, (2000) in front of the coasts of Jalisco. The differences between the coast and oceanic communities have been attributed to the physiography of the studied areas (López-Salgado and Suárez-Morales, 1998; Leis, 1993; Sanvicente-Añorve *et al.*, 1998), as well as the different trophic conditions in both types of environment (Paffenhofer and Stearns, 1988).

The formation of the groups La Niña and El Niño show the effect of climatic conditions that predominated in the Pacific Ocean during the realization of this investigation. A similar situation was found by Jiménez-Pérez (2007) when analyzing the structure of the copepods communities in the southern part of the California Current during

gencias reportados en la región por (Torres-Orozco *et al.*, 2005; López-Sandoval *et al.*, 2009a, 2009b). La asociación entre el aumento en la abundancia de copépodos y la activación de las surgencias durante La Niña quedaron en evidencia al encontrar una relación negativa entre la temperatura y la abundancia de copépodos ($r^2 = -0.177$; $p = 0.05$).

El análisis de agrupamientos reveló que los cambios temporales detectados en la abundancia de los copépodos también se reflejaron en la estructura de la comunidad (Figura 4). En el nivel más alto de agrupación (nivel 1), las muestras se separaron en dos grupos grandes y dos pequeños (grupos A y B). Uno de los grupos grandes estuvo integrado principalmente por las muestras recolectadas durante condiciones de El Niño, mientras que el otro principalmente por recolectadas en condiciones de La Niña. El grupo de El Niño incluyó 55 de las 60 muestras recolectadas entre agosto de 2009 y febrero de 2010, mientras que el grupo de La Niña estuvo integrado por 32 de las 45 muestras recolectadas entre febrero y junio, fechas en que prevalecieron condiciones de La Niña y la transición hacia El Niño. Diez de las 15 muestras recolectadas al finalizar El Niño se integraron en el grupo de La Niña, mientras que cinco al grupo de El Niño. Los dos grupos pequeños estuvieron integrados por estaciones situadas en la parte central y sur de la bahía, zonas donde se tiene una mayor influencia oceánica. El grupo A estuvo integrado por las muestras recolectadas en febrero de 2010 en el centro de la bahía, Yelapa y Quimixto, mientras que el grupo B por las recolectadas en diciembre de 2009 en las estaciones situadas frente a los poblados de Yelapa, Quimixto y Tomatlán.

La separación de los dos pequeños grupos A y B constituidos principalmente por estaciones oceánicas, de los grupos La Niña y El Niño, indica el efecto de las diferencias de hábitat. Esta separación de estaciones oceánicas y costeras fue encontrada por Fernández-Álamo *et al.*, (2000) al analizar la comunidad de copépodos del Golfo de Tehuantepec durante marzo de 1978, así como por Suárez Morales *et al.*, (2000) frente a las costas de Jalisco. Las diferencias entre las comunidades costeras y oceánicas han sido atribuidas a la fisiografía de las áreas estudiadas (López-Salgado and Suárez-Morales, 1998; Leis, 1993; Sanvicente-Añorve *et al.*, 1998), así como a las diferentes condiciones tróficas de ambos tipos de ambiente (Paffenhofer and Stearns, 1988).

La formación de los Grupos La Niña y El Niño muestra el efecto de las condiciones climáticas que predominaron en el Océano Pacífico durante la realización de esta investigación. Una situación similar se encontró al analizar la estruc-

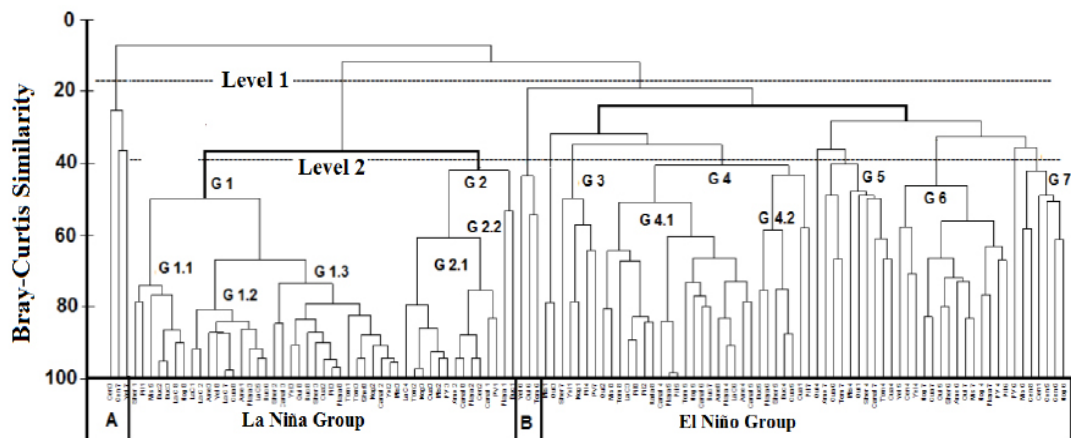


Figure 4. Analysis of the samples collected in Bahía de Banderas between February 2009 and April 2010.

Figura 4. Análisis de agrupamientos de las muestras recolectadas en Bahía de Banderas entre febrero de 2009 y abril de 2010.

El Niño 1997–1998 and its transition towards La Niña 1999–2000. The group El Niño 1997–1998 was characterized by the presence of *Nannocalanus minor*, *Subeucalanus pileatus*, *Temora discaudata*, *Scolecithrix danae*, *Euchaeta rimana* and *Undinula vulgaris*, between the most representative species. In contrast, in La Niña group, there was a predomination of *Calanus pacificus*, and an increase of the *Pleuromamma borealis* was detected. In Bahía de Banderas, the high abundance of copepods and dominance of *A. tonsa* and *A. lilljeborgii* in La Niña group indicates the effect of the coast upwelling regime, while the increase of abundances of *Oithona plumifera*, *Temora discaudata* and *Centropages furcatus* in El Niño group indicate the entrance of tropical waters to the bay.

In a lower grouping level (level 2), the formation of seven groups within La Niña and El Niño groups can be observed, some of them were integrated in several subgroups; amongst them, groups 1, 2 and 4. Groups 1.1 and 1.2 contain a mixture of samples collected during La Niña and after El Niño, which suggest the variability of special patterns related with the activity of the upwellings. In the subgroup 1.3, collected stations in June during the transition between La Niña and El Niño predominate. On the other hand, in group 3 there is a predominance of those collected in August, during the higher intensity of El Niño, while 4 and 5 correspond to samples from February 2009 and December

de las comunidades de copépodos de la parte sur de la Corriente de California durante El Niño 1997–98 y su transición hacia La Niña 1999–2000 por Jiménez-Pérez (2007). El grupo El Niño 1997–98 se caracterizó por la presencia de *Nannocalanus minor*, *Subeucalanus pileatus*, *Temora discaudata*, *Scolecithrix danae*, *Euchaeta rimana* y *Undinula vulgaris* entre las especies más representativas. En contraste, en el grupo de La Niña predominó *Calanus pacificus*, y se detectó un incremento de las *Pleuromamma borealis*. En Bahía de Banderas, las altas abundancias de copépodos y la dominancia de *A. tonsa*, y *A. lilljeborgii* en el Grupo de La Niña indica el efecto del régimen de surgencias costeras, mientras que el aumento de las abundancias de *Oithona plumifera*, *Temora discaudata* y *Centropages furcatus* en el grupo de El Niño indican la entrada de aguas tropicales en la bahía.

En un nivel más bajo de agrupación (nivel 2) se puede visualizar la formación de siete grupos dentro de los grupos de La Niña y El Niño, algunos de los cuales estuvieron integrados por varios subgrupos; entre ellos los grupos 1, 2 y 4. Los grupos 1.1 y 1.2 contienen una mezcla de muestras recolectadas durante La Niña y después de El Niño, que sugieren la variabilidad de los patrones especies asociados con la actividad de las surgencias. En el subgrupo 1.3, predominan las estaciones recolectadas en junio, durante la transición entre La Niña y El Niño. Por su parte, en el grupo 3 predominan las recolectadas en agosto, durante la mayor intensidad de El Niño, mientras que el 4 y 5 corresponden con los muestreos de febrero de

2010, respectively (winter conditions). Groups 6 and 7 contain a mixture of samples collected in all months of El Niño.

Order of samples of zooplankton allowed to observe a similar pattern to the one detected in the grouping analysis, since it also shows a differentiation between collected samples during El Niño conditions, which moved to the right of the chart, while those collected in La Niña and after El Niño conditions, are located to the left side, with a strong overlap between them (Figure 5). The adjustment was not perfect, since some of the collected samples during La Niña or after El Niño are found in the area. Nevertheless, the level of stress is low (0.12), which indicates that the configuration obtained corresponds to a good order, where possibilities of a bad interpretations are very few (Clarke and Warwick, 2001).

The taxonomic structure of the copepods community changed depending of environmental conditions. The ANOSIM showed that the detected structure in La Niña group was different from the one detected in El Niño group ($r=0.411$; $p=0.1$ %); likewise for those detected during El Niño and after El Niño ($r=0.261$; $p=0.1$ %), but those detected during La Niña and after El Niño were not different ($r=-0.054$; $p=71.2$ %). Detected differences between the seven groups were also significant (Table 2).

Simper indicated that La Niña group was dominated by *A. tonsa*, species that contributed with the 85.4 % of the similarity between samples in the group. In a far second place, *Acartia lilljeborgii* (7.9 %) was located. However, such dominance did not occur in El Niño group, where these species contributed with a bare 30.6 % of the similarity; other species that raised their contribution during El Niño were *Oithona plumifera* (26.8 %), *A. lilljeborgii* (13.5 %), *Temora discaudata* (5.5 %) and *Centropages furcatus* (5.3 %). After El Niño, *A. tonsa* was the dominant species again by contributing with 89.0 % of the similarity within the group. Overall, these results show that the arrival of El Niño 2009 – 2010 caused a change in the structure of the copepods communities in Bahía de Banderas. This behavior could have been caused by a low availability of feed, since *A. tonsa* is an adapted species in the coast areas with high concentration of feed (Paffenhofer and Stearns, 1988). According to this author, the low abundance that *A. tonsa* presents in the continental platform is due to the lack of feed that can be obtained for the reproduction in the waters far from the coast, where feed concentration is usually low.

2009 y diciembre de 2010, respectivamente (condiciones de invierno). Los grupos 6 y 7 contienen una mezcla de muestras recolectadas en todos los meses de El Niño.

La ordenación de las muestras de zooplancton permitió visualizar un patrón similar al detectado en el análisis de agrupamientos, pues también muestra una diferenciación entre las muestras recolectadas durante condiciones de El Niño, que se desplazaron hacia la derecha del cuadro, mientras que las recolectadas en condiciones de la Niña y después de El Niño se ubican hacia el lado izquierdo, con un fuerte traslape entre ellas (Figura 5). El ajuste no fue perfecto, pues algunas de las muestras recolectadas durante La Niña o después de El Niño se encuentran en la zona. Sin embargo, el nivel de estrés es bajo (0.12), lo que indica que la configuración obtenida corresponde a una buena ordenación, donde las posibilidades de una mala interpretación son pocas (Clarke y Warwick, 2001).

La estructura taxonómica de la comunidad de copépodos cambio dependiendo de las condiciones ambientales. El ANOSIM demostró que la estructura detectada en el grupo La Niña fue diferente de la detectada en el grupo El Niño ($r=0.411$; $p=0.1$ %); de igual manera, las detectadas durante El Niño y después de El Niño ($r=0.261$; $p=0.1$ %), pero las detectadas durante La Niña y después de El Niño no fueron diferentes ($r=-0.054$; $p=71.2$ %). Las diferencias detectadas entre los siete grupos también fueron significativas (Tabla 2).

El Simper indicó que el grupo de La Niña fue dominado por *A. tonsa*, especie que contribuyó con el 85.4 % de la similitud entre las muestras del grupo. En un lejano segundo lugar se ubicó *Acartia lilljeborgii* (7.9 %). Sin embargo, esa dominancia no ocurrió en el grupo de El Niño, donde esta especie contribuyó apenas con el 30.6 % de la similitud; otras especies aumentaron su contribución durante El Niño fueron *Oithona plumifera* (26.8 %), *A. lilljeborgii* (13.5 %), *Temora discaudata* (5.5 %) y *Centropages furcatus* (5.3 %). Después de El Niño, *A. tonsa* volvió a ser la especie dominante al contribuir con 89.0 % de la similitud dentro del grupo. En general, estos resultados muestran que el arribo de El Niño 2009-2010 ocasionó un cambio en la estructura de las comunidades de copépodos de Bahía de Banderas. Este comportamiento pudo ser causado por una baja disponibilidad de alimento, pues *A. tonsa* es una especie que está adaptada en las áreas costeras con alta concentración de alimento (Paffenhofer y Stearns, 1988). De acuerdo con este autor, *A. tonsa* las bajas abundancias que presenta esta especie en la plataforma continental se debe a que no puede obtener suficiente alimento para la reproducción en las aguas alejadas de la costa donde la concentración de alimento es usualmente baja.

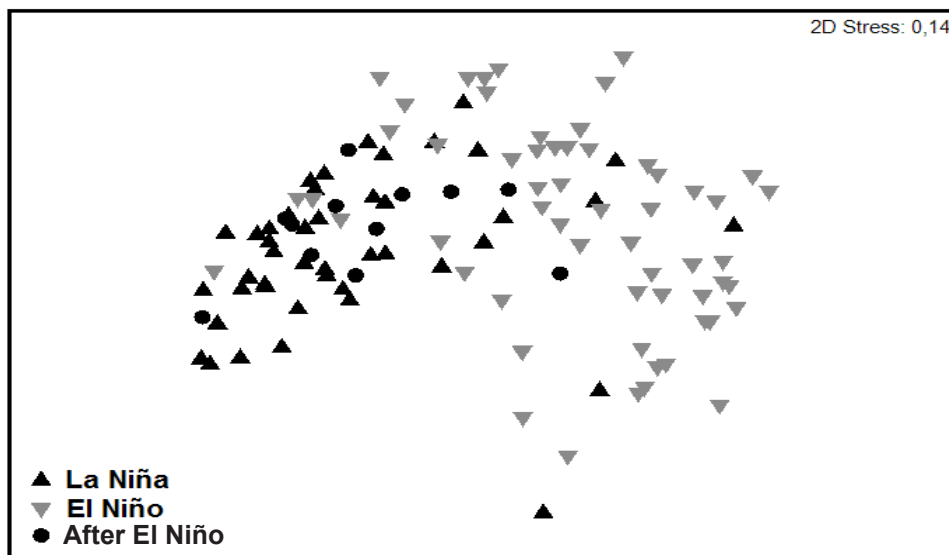


Figure 5. Analysis of Multidimensional Scaling of samples.

Figura 5. Análisis de Escalamiento Multidimensional (MDS) de las muestras.

Most common species in the subgroups presented important changes; thus, subgroups 1.1 and 1.2 were dominated by *Acartia tonsa* and *A. lilljeborgi*, but with low abundance, while in groups 2.1 and 2.2 there was a strong increase in both species, being *A. tonsa* the most abundant in subgroup 2.1 and *A. lilljeborgi* in subgroup 2.2 (Table 1). On the other hand, group 1.3 that marked the transitional between La Niña and El Niño is already manifested by a decrease in abundances of *A. tonsa* and *A. lilljeborgi*, as well as a slight increase in the tropical species such as *Subeucalanus subtenuis* and *Centropages furcatus*.

Amongst the groups of El Niño, there were difference found. In group 3, *A. tonsa* and *A. lilljeborgi* remained as the most abundant, but an increase of *Oithona plumifera* was recorded, while in groups 4 and 5 from winter, abundances of *Acartia* species decreased, although *O. plumifera* presented a slight upturn (Table 1).

During the study period, 57 species that belong to 20 families were identified. 34 species and 14 families belonged to the order Calanoida, 14 species and 4 families to Cyclopoida and 4 species and 2 families to Harpacticoida (Appendix I). Only 4 of the 57 recorded species presented an equal or higher frequency to 50 % of the collected samples in both La Niña and El Niño conditions; they were: *Acartia tonsa*, *Acartia lilljeborgi*,

Las especies más comunes de los subgrupos presentaron cambios importantes; así, los subgrupos 1.1 y 1.2 fueron dominados por *Acartia tonsa* y *A. lilljeborgi*, pero con bajas abundancias, mientras que en los grupos 2.1 y 2.2 se presentó un fuerte incremento de ambas especies, siendo *A. tonsa* más abundante en el subgrupo 2.1, y *A. lilljeborgi* en el subgrupo 2.2 (Tabla 1). Por su parte, en el grupo 1.3 que marcó la transicional entre La Niña y El Niño ya se manifiesta una disminución en las abundancias de *A. tonsa* y *A. lilljeborgi*, así como un ligero incremento en las especies tropicales como *Subeucalanus subtenuis* y *Centropages furcatus*.

Entre los grupos de El Niño también se encontraron diferencias pues en el grupo 3, *A. tonsa* y *A. lilljeborgi* siguieron siendo las más abundantes, pero se registró un aumento de *Oithona plumifera*, mientras que en los grupos 4 y 5 de invierno, disminuyeron las abundancias de las especies de *Acartia*, pero *O. plumifera* presentó un ligero repunte (Tabla 1).

Durante el periodo de estudio se identificaron 57 especies que pertenecen a 20 familias. 34 especies y 14 familias pertenecieron al orden Calanoida, 14 especies y cuatro familias al Orden Cyclopoida y 4 especies y dos familias al orden Harpacticoida (Apéndice I). Solo 4 de las 57 especies registradas presentaron una frecuencia igual o mayor al 50 % de las muestras recolectadas tanto en condiciones de La Niña, como El Niño; ellas fueron: *Acartia tonsa*,

Table 1.
Affinity, abundance (Abu) and percentage frequency of samples (% F) of the most representative species of the groups La Niña and El Niño in Bahía de Banderas.

Tabla 1.
Afinidad, abundancia (Abu) y porcentaje de frecuencia en las muestras (% F) de las especies más representativas de los grupos La Niña y El Niño en Bahía de Banderas.

| | | Afinidad | Niña | | Niño | |
|-------------------------------|---|-----------|------|-------|------|-------|
| | | | %F | % Abu | %F | % Abu |
| <i>Acartia lilljeborgi</i> | C | Trop | 91.0 | 17 | 56.7 | |
| <i>Acartia tonsa</i> | C | Trop-temp | 95.5 | 35 | 85.0 | |
| <i>Centropages furcatus</i> | N | Trop | 72.0 | 25 | 70.0 | |
| <i>Copilia mirabilis</i> | C | Trop | 10.0 | 2 | 38.3 | |
| <i>Subeucalanus subtenuis</i> | O | Trop | 47.7 | 7 | 43.3 | |
| <i>Oncaea media</i> | O | Sub-Trop | 33.3 | 4 | 43.3 | |
| <i>Oithona plumifera</i> | O | Trop | 54.5 | 12 | 78.3 | |
| <i>Nannocalanus minor</i> | O | Trop | 45.4 | 7 | 43.3 | |
| <i>Paracalanus aculeatus</i> | O | Trop | 22.3 | 1 | 45.0 | |
| <i>Paracalanus parvus</i> | C | Trop-temp | 17.7 | 4 | 41.7 | |
| <i>Temora discaudata</i> | N | Trop | 35.7 | 7 | 58.3 | |

Nerítico, C= coastal, O= oceanic, Trop= tropical, Trop-temp= tropical-temperate, Sub-trop= subtropical. Abundances was # ind/m³, _ 1 indicates lower values.

N= nerítico, C= costero, O= oceánico, Trop= tropical, Trop-temp= tropical-templado, Sub-trop= subtropical. Las abundancias esta en # ind/m³, _ indica valores menores de 1.

Oithona plumifera and *Centropages furcatus* (Table 2). 51 from the 57 recorded species have been reported in the region by Suarez Morales *et al.*, (2000) or Kozak *et al.*, (2014). However, six of them: *Subeucalanus mucronatus*, *Lucicutia flavicornis*, *Lucicutia pacifica*, *Metridia pacifica*, *Metridia clausi* and *Calocalanus styliremis* constitute new records for the coasts of Jalisco – Nayarit. Eight species of cyclopoid copepods and two harpacticoids are found in the same situation (Appendix I). The absence of these species can be explained from several points of view. In the first place, by the scarcity of studies on the group of coast copepods.

Diversity of this species was relatively high in February 2009, decreased in April and June, presented an important increase in the following four samplings but presented low values again (<1.0 bits/ind) in April 2010 (Figure 6). Variance analysis showed that temporary differences were significant ($F=10.363$; $p<0.001$), as the changes detected in February and April, April and June, and between February 2010 and April 2010 ($p<0.05$). Low diversity of species detected in April and June seems to be associa-

Acartia lilljeborgi, *Oithona plumifera* y *Centropages furcatus* (Tabla 2). 51 de las 57 especies registradas han sido reportadas en la región por Suarez Morales *et al.*, (2000) o Kozak *et al.*, (2014). Sin embargo, seis de ellas: *Subeucalanus mucronatus*, *Lucicutia flavicornis*, *Lucicutia pacifica*, *Metridia pacifica*, *Metridia clausi* y *Calocalanus styliremis* constituyen nuevos registros para las costas de Jalisco-Nayarit. En la misma situación se encuentran ocho especies de copépodos ciclopoideos y dos harpacticoides (Apéndice I). La ausencia de esas especies puede ser explicada desde varios puntos de vista. En primer lugar, por la escasez de estudios sobre el grupo de los copépodos costeros.

La diversidad de especies fue relativamente alta en febrero de 2009, disminuyó en abril y junio, presentó un incremento importante los siguientes cuatro muestreos, pero volvió a presentar valores bajos (<1.0 bits/ind en abril de 2010 (Figura 6). El análisis de varianza demostró que las diferencias temporales fueron significativas ($F=10.363$; $p<0.001$), al igual que los cambios detectados entre febrero y abril, abril y junio, así como entre febrero de 2010 y abril de 2010 ($p<0.05$). La baja diversidad de especies detectada

ted with the activation of the upwelling centers in the region, since these events directly influence in the structure of copepods communities. This relationship has been documented in the southern part of California Current (Longhurst, 1967; Cervantes-Duarte *et al.*, 1993). On the other hand, high diversity of species detected between August and December 2009 indicates a clear influence in the tropical waters associated with the arrival of El Niño. A similar situation to the one reported by Hernández – Trujillo (1991a; 1995) in front of the coasts of the Baja California peninsula.

Equity presented a temporal similar to the one detected in the diversity indexes with high values in February 2009, as well as a clear decrease in April and June, which was followed by a strong increase in the following four months, and the low values in April 2010 (Figure 7). In this case also, the variance analysis showed that those differences were significant ($F=18.535$; $p<0.001$), while the Tukey test showed that observed changes between February and April, June and August and February and April 2010 were also significant ($p<0.05$). On the other hand, the richness of species presented a similar tendency to those of diversity and equity in most of the months. However, in April and June 2009 a different be-

en abril y junio, parece estar asociada con la activación de los centros de surgencias en la región, pues estos eventos influyen directamente en la estructura de las comunidades de copépodos. Esta relación se ha documentado en la parte sur de la Corriente de California (Longhurst, 1967; Cervantes-Duarte *et al.*, 1993). Por el contrario, la alta diversidad de especies detectada entre agosto y diciembre de 2009 indica una clara influencia de las aguas tropicales asociadas con el arribo de El Niño. Una situación similar a la reportada por Hernández-Trujillo (1991a; 1995) frente a las costas de la península de Baja California.

La equidad presentó una temporal similar a la detectada en los índices de diversidad con valores altos en febrero de 2009, así como una clara disminución en abril y junio, misma que fue seguida por un fuerte en aumento en los siguientes cuatro meses, así como por valores bajos en abril de 2010 (Figura 7). También en este caso el análisis de varianza demostró que esas diferencias fueron significativas ($F=18.535$; $p<0.001$), mientras que la prueba de Turkey demostró que los cambios observados entre febrero y abril, junio y agosto y febrero abril de 2010 también fueron significativas ($p<0.05$). Por su parte, la riqueza de especies presentó una tendencia similar a las de diversidad y equidad en la mayoría de los meses. Sin embargo, en abril y junio de 2009 se registro un comportamien-

Table 2.
Average abundances of the dominant species in the identified subgroups during La Niña and El Niño.

Tabla 2.
Abundancias promedio de las especies dominantes en los subgrupos detectados

| Species | Groups La Niña conditions | | | | |
|-------------------------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | G 1.1 | G 1.2 | G 1.3 | G 2.1 | G 2.2 |
| <i>Acartia tonsa</i> | 100 | 196 | 344 | 1036 | 410 |
| <i>Acartia lilljeborgi</i> | 16 | 27 | 39 | 212 | 1125 |
| <i>Subeucalanus subtenuis</i> | 1 | 2 | 8 | 1 | 0 |
| <i>Centropages furcatus</i> | 4 | 3 | 7 | 3 | 4 |
| <i>Oithona plumifera</i> | 1 | 1 | 3 | 0 | 1 |

| Species | Groups El Niño conditions | | | | |
|-------------------------------|---------------------------|------|------|-----|------|
| | G 3 | G 4 | G 5 | G 6 | G 7 |
| <i>Acartia tonsa</i> | 60.2 | 20.7 | 30 | 2.8 | 36.4 |
| <i>Acartia lilljeborgi</i> | 26.5 | 3.5 | 13.5 | - | 5.3 |
| <i>Oithona plumifera</i> | 12.4 | 17.5 | 20.4 | 6.0 | 29.0 |
| <i>Centropages furcatus</i> | 2.0 | 2.6 | 10.0 | 2.0 | 12.3 |
| <i>Temora discaudata</i> | 2.5 | 1.2 | 13.2 | 1.6 | 12.0 |
| <i>Subeucalanus subtenuis</i> | 1.3 | 0.5 | 1.0 | 1.4 | 4.4 |

Appendix I
Systematic list of copepods of Banderas Bay in 2009 using the
Boxshall systematic arrangement and Halsey, (2004). The asterisks indicate new
records for the coast of Jalisco and Nayarit.

Apendice I
Listado sistemático de los copépodos de Bahía de Banderas durante 2009 utilizando el
arreglo sistemático de Boxshall y Halsey, (2004). Los asteriscos indican los nuevos
registros para las costas de Jalisco y Nayarit.

Order CALANOIDA Sars 1903

Family Acartidae Sars 1903

- Acartia clausi* Giesbrecht 1889
Acartia Eiljebergii Giesbrecht, 1889
Acartia tonsa Dana 1849

Family Calanidae Dana 1849

- Neocalanus minor* (Claus 1863)
Neocalanus clausi (Lubbock 1850)
Ucahystis vulgaris Dana, 1852

Family Candaciidae Giesbrecht 1892

- Candacia carida* (Giesbrecht 1889)
Paracandacia truncata (Dana 1849)

Family Centropagidae Giesbrecht 1892

- Centropagus fortis* (Dana 1849)

Family Eucalanidae Giesbrecht 1892

- Paracalanus savatzi* (Fleminger, 1973)
Subcalanus pilosus Giesbrecht 1888
Subcalanus setulosus Giesbrecht 1888
***Subcalanus macrometis* Giesbrecht 1888

Family Euchaetidae Giesbrecht 1892

- Euchaeta rosea* (Bradford 1974)
Euchaeta longicornis (Giesbrecht 1888)
Euchaeta indica Wolfenden, 1905

Family Lucicutiidae Sars 1902

- ***Lucicutia flavicornis* (Claus 1863)
Lucicutia pacifica (Bridley, 1950)

Family Mecynoceridae Andronow 1973

- ***Mecynocera clausi* Thompson 1888

Family Metridiidae Sars 1902

- ***Metridia pacifica* Bredsky, 1950
Platemonaster oblongicollis (Lubbock 1850)

Family Paracalanidae Giesbrecht 1892

- Paracalanus parvus* (Claus 1863)
Paracalanus aculeatus Giesbrecht, 1888
Cricocalanus Purvi (Dana, 1849)
***Calocalanus stylivensis* (Giesbrecht, 1892)

Family Pseudodiaptomidae (Dana 1852)

- Labidocera arctis* (Dana 1849)
Labidocera lubbocki Giesbrecht, 1892
Pseudodiaptomus regalis (Dana 1849)
Pseudidius phoeniceus (Dana 1849)

Family Scutellariidae Giesbrecht 1892

- Scutellaria clausi* (Lubbock 1850)
Scutellariella clausi (Giesbrecht 1892)

Family Temnidae Giesbrecht 1892

- Temora discaudata* Giesbrecht 1889

Family Pseudodiaptomidae

- Pseudodiaptomus californicus* Marsh, 1913
Pseudodiaptomus wigoti Johnson, 1939
-

Order Cyclopoida Burmeister 1836

Family Oithonidae Dana 1852

- Oithona plumifera* Baird 1843
***Oithona attenuata* Farran 1913
***Oithona robusta* Giesbrecht, 1892
Oithona oculata Farran 1913

Family Corycaenidae Dana 1852

- Corycaeus americanus* F. Dahl 1894
Corycaeus flaccus Giesbrecht 1891
Corycaeus spicatus Dana 1849
Corycaeus ovatis Claus, 1863

Family Oncaenidae Giesbrecht 1892

- ***Oncaea media* Giesbrecht 1891
***Oncaea mediterranea* (Claus 1863)
Oncaea varuata Philippi, 1843

Family Sapphirinidae Thomsen 1859

- Copula mirabilis* Dana 1852
***Copula quadrata* DANA, 1852
***Sapphirina angusta* Dana, 1849
***Sapphirina galatica* Giesbrecht, 1891
***Sapphirina scarlata* Giesbrecht, 1892
***Sapphirina nigromaculata* Claus, 1863
-

Order Harpacticoida Sars 1903

Family Ectinosomatidae Sars 1903

- ***Microsetella rosea* (Dana 1849)
Microsetella norvegica (Dana 1849)
***Microsetella gracilis* (Dana, 1848)

Family Tachidiidae

- Ectropina arcifera* (Dana, 1848)
-

havior was recorded, since while the richness of species was high (up to 20 species), equity was low (Figure 7). This result contrasts with the one obtained by Kozak *et al.*, (2014) who found that the richness of copepods species was low in periods of upwelling, and raised during El Niño 1997–1998. It is considered that this different response is due to the nature of the sampling areas; our study was more coastal, while the other was performed on the continental platform.

Temporary variations analysis of diversity of species indicate that the community of copepods was sensitive to changes of different nature. By comparing the different tendencies from figures 6 and 7, it can be inferred that high values of diversity in species detected in February 2009 resulted from the combined effect of an elevated richness of species and an equal distribution between abundances of species. On the other hand, the decrease in diversity detected in April and June 2009, as well as the one detected in April 2010, was due to low equity. Likewise, the upturn of diversity of species detected between August 2009 and February 2010 was due to the combined effect of equity and species richness increase, while low diversity from April 2010 was caused by the combination of low species richness and low equity associated with a dominance of *A. tonsa*. Multiple Lineal Regression analysis indicated that species diversity was related directly with both equity ($r=0.706$; $p<0.001$) and species richness ($r^2=0.275$; $p<0.05$). Di-

to diferente, pues mientras que la riqueza de especies fue alta (hasta 20 especies), la equidad fue baja (Figura 7). Este resultado contrasta con lo obtenido por Kozak *et al.*, (2014) quienes encontraron que la riqueza de especies de los copépodos fue baja en periodos de surgencias, y aumentó durante El Niño 1997-1998. Se considera que esta diferente respuesta se debe a la naturaleza de las áreas de muestreo; nuestro estudio fue más costero, mientras que el otro fue realizado principalmente sobre la plataforma continental.

El análisis de las variaciones temporales de la diversidad de especies indica que la comunidad de copépodos fue sensible a cambios de distinta naturaleza. Al comparar las diferentes tendencias de las figuras 6 y 7 se puede inferir que los valores altos de la diversidad de especies detectados en febrero de 2009, resultaron del efecto combinado de una elevada riqueza de especies y una distribución equitativa entre las abundancias de las especies. Por el contrario, el descenso en la diversidad detectado en abril y junio de 2009, así como el detectado en abril de 2010 se debió principalmente a la baja equidad. De igual manera, el repunte de la diversidad de especies detectado entre agosto de 2009 y febrero de 2010 se debió al efecto combinado del aumento en la equidad y riqueza de especies, mientras que la baja diversidad de abril de 2010 fue ocasionada por la combinación de la baja riqueza de especies y la baja equidad asociada con una dominancia de *A. tonsa*. El análisis de Regresión Lineal Múltiple indicó que la diversidad de especies estuvo relacionada directamente tanto con la equidad ($r=0.706$; $p<0.001$), como con la riqueza de especies ($r^2=0.275$; $p<0.05$). La diversidad de especies tam-

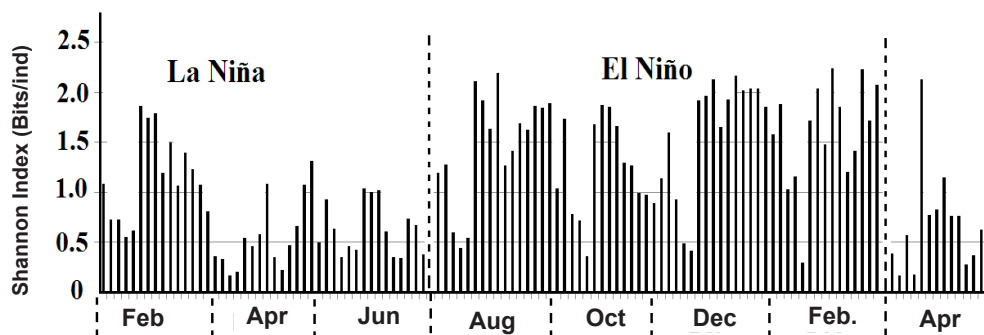


Figure 6. Temporal variability of the diversity of copepods species.
Each bar represents the value of the Shannon index from each unit of sample collected.

Figura 6. Variabilidad temporal de la diversidad de especies de copépodos.
Cada barra representa el valor del índice de Shannon de cada unidad de muestra recolectada.

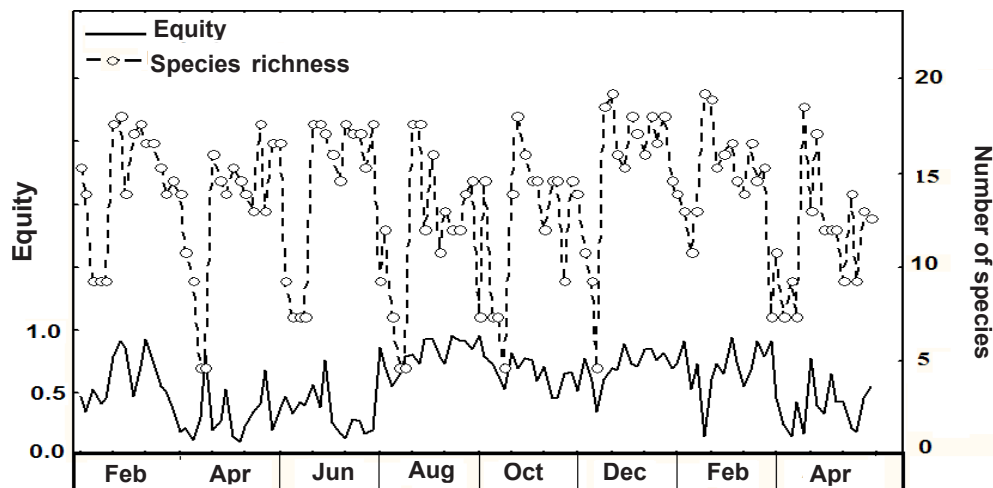


Figure 7. Temporal variability of equity and richness of copepods species in Bahía de Banderas. Clear circles represent the richness of species and the continuum line, equity.

Figura 7. Variabilidad temporal de la equidad y riqueza de especies de copépodos de Bahía de Banderas. Los círculos claros representan la riqueza de especies y la línea continua la equidad.

versity of species was also directly related with the water temperature ($r^2=0.381$; $p=0.01$).

Variation intervals of species diversity were narrower than those estimated by Hernández-Trujillo (1991b), and they result to be low in comparison with the estimated 3.2 bits/ind for the coast of Jalisco by Suarez-Morales *et al.*, (2000). A difference between our results and those obtained by Hernández-Trujillo (1991b) was the detection of a minimum of 0.175 that contrasts with the value proliferation close to zero in Hernández-Trujillo (1991b). These differences could be due to the more coast nature of our samples, and the higher environmental variability of the waters, associated with the discharges of the rivers. Finally, the increase detected in both diversity and equity of species between June and October 2009 could have a seasonal component whose magnitude could not be evaluated because of the lack of a higher temporal coverage.

Conclusions

The structure of the copepods community presented great variation in its abundance patterns, as those of species diversity, richness and equity, and those variations were related with the Pacific Ocean climate condi-

tion also directly related with the water temperature ($r^2=0.381$; $p=0.01$).

Los intervalos de variación de la diversidad de especies fueron más estrechos que los estimados por Hernández-Trujillo (1991b), y resultan bastante bajos en comparación con los 3.2 bits/ind estimado para las costas de Jalisco por Suarez-Morales *et al.*, (2000). Una diferencia entre nuestros resultados y los obtenidos por Hernández-Trujillo (1991b) fue la detección de un mínimo de 0.175 que contrasta con la proliferación de valores más cercanos a cero en Hernández-Trujillo (1991b). Estas diferencias podrían deberse a la naturaleza más costera de nuestras muestras, así como a la mayor variabilidad ambiental de las aguas, asociada con las descargas de los ríos. Por otra parte, el incremento detectado tanto en la diversidad de especies como en la equidad entre junio y octubre de 2009 podría tener una componente estacional cuya magnitud no pudo ser evaluada por la falta de una mayor cobertura temporal.

Conclusiones

La estructura de la comunidad de copépodos presentó una gran variación tanto en sus patrones de abundancia, como de diversidad, riqueza y equidad de especies, y esas variaciones estuvieron relacionadas con las condiciones climáticas

tions: the abundance of copepods was high during La Niña, while diversity of species was relatively low. On the other hand, when El Niño conditions predominated the Pacific Ocean, abundance of copepods was low, but diversity of species was enriched. Finally, the presence of populations typically oceanic such as *Pleuromamma gracilis*, *Copilia mirabilis*, *Pareucalanus sewelli*, *Undinula darwinii* and *Acartia danae* indicate the oceanic nature of the bay.

del Océano Pacífico: la abundancia de copépodos fue alta durante La Niña mientras que la diversidad de especies fue relativamente baja. Por el contrario, cuando en el Océano Pacífico predominaron condiciones de El Niño, la abundancia de copépodos fue baja pero la diversidad de especies se vio enriquecida. Por otra parte, la presencia de poblaciones típicamente oceánicas, tales como *Pleuromamma gracilis*, *Copilia mirabilis*, *Pareucalanus sewelli*, *Undinula darwinii* y *Acartia danae* indica la naturaleza oceánica de la bahía.

References

- Beaugrand, G., Reid, P.C., Ibañez, F. and Planque, P. 2000. Biodiversity of North Atlantic and North Sea calanoid copepods. *Marine Ecology Progress Series* 204: 299-303. http://plymsea.ac.uk/1727/1/meps_beaugrand_2000.pdf
- Beaugrand, G., Ibañez, F. and Lindley, J.A. 2001. Geographical distribution and seasonal and diel changes of the diversity of calanoid copepods. *Marine Ecology Progress Series* 219: 189-203. https://www.researchgate.net/publication/240809173_Geographical_distribution_and_seasonal_and_diel_changes_in_the_diversity_of_calanoid_copepods_in_the_North_Atlantic_and_North_Sea
- Bjorkstedt, E.P., Goericke, R., McClatchie, S., Weber, E., Watson, W. and Lo, N. 2010. State of the California current 2009-2010: Regional variations persists through transition from La Niña to El Niño (and back?). *California cooperative fisheries Investigations Report* 51, 39-69. https://www.researchgate.net/publication/283867793_State_of_the_California_current_2009-2010_Regional_variation_persists_through_transition_from_la_Nina_to_el_Nino_and_back
- Brower, J.E. and Zar, J.H. 1977. Field and laboratory methods for general ecology. Dubuque Iowa: *WC Brown Co. Publ.* 193 http://www.sisal.unam.mx/labeco/LAB_ECOLOGIA/Ecologia_de_Poblaciones_y_Comunidades_files/GeneralEcology.pdf
- Brodsky, K. 1950. Calanoida of the far eastern seas and polar basins of the USSR. Jerusalén: Key to the fauna of the USSR No. 35 Zoological Institute Russian Academy of Science, (Translated from Russian by the Israel Program for Scientific Translations, 1967). 440 pp.
- Carriquiry, J.D. and Reyes-Bonilla, H. 1997. Estructura de la comunidad y distribución geográfica de los arrecifes coralinos de Nayarit, Pacífico de México. *Ciencias Marinas* 23(2): 227-248. <http://www.redalyc.org/pdf/480/48023205.pdf>
- Cervantes-Duarte, R., Aguiñiga, S. and Hernández-Trujillo, S. 1993. Condiciones de surgencia asociadas a la distribución de zooplancton en San Hipólito B.C.S. *Ciencias Marinas* 19(1): 117-135. <http://www.redalyc.org/pdf/480/48019108.pdf>
- Clarke, K. and Warwick, R. 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. 2da. edition. *Plymouth: Plymouth Marine Laboratory* 144. <https://www.google.com.mx/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#q=Change+in+marine+communities:+an+approach+to+statistical+analysis+and+interpretation.+2da.+edition.+Plymouth:+Plymouth+Marine+Laboratory+144>
- Dawson, K.J. and Knatz, G., 1980. Illustrated key to planktonic copepods of San Pedro Bay, California. *Tech. Rep. Allan Hancock Foundation* 2, 125 pp.
- Farber-Lorda, J., Lavín, M.F. and Guerrero-Ruiz, M.A. 2004. Effects of wind forcing on trophic conditions, zooplankton biomass and krill biochemical composition in the Gulf of Tehuantepec. *Deep-Sea Res II* 51: 601-614. https://www.researchgate.net/publication/223369653_Effects_of_wind_forcing_on_the_trophic_conditions_zooplankton_biomass_and_krill_biochemical_composition_in_the_Gulf_of_Tehuantepec
- Fernandez-Álamo, M., Sanvicente-Añorve, L. and Alameda-de-la-Mora, G. 2000. Copepod assemblages in the Gulf of Tehuantepec, México. *Crustaceana* 73(9): 1139-1153. https://www.researchgate.net/publication/233487596_Copepod_assemblages_in_the_Gulf_of_Tehuantepec_Mexico
- Fock, H. 2000. Analysis of community structure. En: Harris J. Wiebe PH, Lens J, Skjoldal HR, Huntley M, eds. ICES Zooplankton Methodology Manual. *London: Academic Press* 155-175. <https://www.google.com.mx/webhp?sourceid=chrome->

- [instant&ion=1&esvp=2&ie=UTF-8#q=Zooplankton+Methodology+Manual.+London:+Academic+Press](#)
- Godínez, V.M., Beier, E., Lavín, M.F. and Kurezyn, J.A. 2010. Circulation at the entrance of the Gulf of California from satellite altimeter and hydrographic observations. *Journal of Geophysical Research* 115: C04007, doi: 10.1029/2009JC005705. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2009JC005705/abstract>
- Gomez-Aguirre, S. 2001. Migración vertical de *Acartia tonsa* y *Acartia lilljeborjii* (Copepoda: Calanoida) durante un eclipse de sol. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Autónoma de México Serie Zoología* 72(2): 167-175. <http://www.ejournal.unam.mx/zoo/072-02/ZOO72201.pdf>
- Grice, D. 1961. Calanoid copepods from equatorial waters of the Pacific Ocean. Fish and Wildlife Service. *Special Scientific Report Fisheries* 61(186): 167-246. ftp://www.cmarz.org/pub/cmarz/pdf/copepod_refs/Grice.%201962.pdf
- Hayward, L.T., Baumgartner, T.R., Checkley, D.M., Durazo, R., Gaxiola-Castro, G. and Hyrenbach, K.D. 1999. The state of the California Current in 1998-1999 transition to cool-water conditions. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigation Report* 40: 29-62. http://www.calcofi.org/publications/calcofireports/v40/CalCOFI_Rpt_Vol_40_1999.pdf
- Hernández-Trujillo, S. 1991a. Análisis de la diversidad de copépodos. (Mayo de 1986). *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional de Autónoma México* 18(2): 279-288. <http://148.204.122.250/oasis/productividad.php?id=640&anio=1991&tipo=0&encabezado=Art%C3%ADculos%20cient%C3%ADficos>
- Hernández-Trujillo, S. 1991b. Variación latitudinal de la diversidad de copépodos en la costa occidental de B.C.S. (1982-84). *Ciencias Marinas* 17(4): 83-103.
- Hernández-Trujillo, S., Suárez-Morales, E., Esqueda-Escárcega, G. 2003. Abundance of *Calanus pacificus* (Copepoda, Calanoida) related to "El Niño" event off Baja California, Mexico. In M.E. Hendrickx (Ed.). *Contribuciones al Estudio de los Crustáceos del Pacífico Este. Vol. 2. México: Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.*
- Hernández-Trujillo, S. 1995. Cambios interanuales en la comunidad de copépodos en la costa occidental de Baja California Sur, México (julio 1987-y julio de 1988). *Hidrobiológica* 5(1-2): 127-134. http://investigacion.izt.uam.mx/rehb/publicaciones/5-1PDF/127-134_Hernandez-T.pdf
- Hooff, R.C. and Peterson, W.T. 2006. Copepod diversity as an indicator of changes in ocean and climate conditions of the northern California Current system. *Limnology Oceanography* 51(6): 2607-2620. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.4319/lo.2006.51.6.2607/full>
- Hopcroft, R.R., Clarke, C. and Chavez, F.P. 2002. Copepod communities in Monterey Bay during the 1997 to 1999 El Niño and La Niña. *Progress in oceanography* 54: 251-264. <http://www.ingentaconnect.com/content/els/007966112002/00000054/00000001/art00052>
- Hurlbert, S.H. 1971. The non-concept of species diversity: A critique and alternative parameters. *Ecology* 52: 577-586.
- Jiménez-Pérez, L.C. and Lara-Lara, R. 1988. Zooplankton biomass and copepod community structure in the Gulf of California during the 1982-1983 El Niño event. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigation Report*. 29: 122-129 http://www.calcofi.org/publications/calcofireports/v29/CalCOFI_Rpt_Vol_29_1988.pdf
- Jiménez-Pérez, L.C. and Lavaniegos-Espejo, B.E. 2004. Changes in dominant copepods off Baja California during the 1997-1999 El Niño and La Niña. *Marine Ecology Progress Series* 277: 147-165. <http://www.int-res.com/articles/meps2004/277/m277p147.pdf>
- Jiménez-Pérez, L.C. 2007. Caracterización de las comunidades de copépodos calanoides de la parte sur de la Corriente de California durante El Niño 1997 y su transición hacia La Niña 1999-2000 (tesis de doctorado). Ensenada: Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada.
- Kessler, W.S. 2006. The circulation of the Eastern Tropical Pacific: a review. *Progress in Oceanography* 69: 181-217. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079661106000310>
- Kozak, E., Franco-Gordo, C., Suarez-Morales, E. and Palomares-García, R. 2014. Seasonal and interannual variability of the calanoid copepod community structure in shelf waters of the Eastern Tropical Pacific. *Marine Ecology Progress Series* 507: 95-110. https://www.researchgate.net/profile/C_Franco-Gordo/publication/271251088_Seasonal_and_interannual_variability_of_the_calanoid_copepod_community_structure_in_shelf_waters_of_the_Eastern_Tropical_Pacific/links/54d226830cf28959aa7c2484.pdf
- Lavaniegos, B.E. and González-Navarro, E. 1999. Grupos principales del zooplancton durante El Niño 1002-93 en el Canal de San Lorenzo, Golfo de California. *Revista de Biología Tropical* 47(suplemento 1): 129-140. http://www.ots.ac.cr/rbt/attachments/suppls/sup47-1/17_Lavaniegos_Zooplankton_California.pdf

- Lavaniegos-Espejo, B.D., L.C. Jiménez-Pérez and Gaxiola-Castro, G. 2002. Plankton Response to El Niño 1997-1998 and La Niña 1999 in the Southern region of the California Current. *Progress in Oceanography* 54: 33-58.
- Lavín, M.F., Beier, E., Gómez-Valdés, J., Godínez, V.M. and García, J. 2006. On the summer poleward coastal current off SW México. *Geophysical Research Letters* 33: L02601, doi: 10.1029/2005GL024686. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2005GL024686/full>
- Leis, J.M. 1993. Larval fish assemblages near Indo-Pacific coral reefs. *Bulletin of Marine Sciences* 53: 362-392. <http://www.ingentaconnect.com/content/umrsmas/bullmar/1993/00000053/00000002/art00004>
- Longhurst, A. 1967. Diversity and trophic structure of zooplankton communities in the California Current. *Deep Sea Research* 14: 393-408. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0011747167900472>
- López-Salgado, I. and Suárez-Morales, E. 1998. Copepod assemblages in surface waters of the western Gulf of Mexico. *Crustaceana* 71: 312-330. <http://booksandjournals.brillonline.com/content/journals/10.1163/156854098x00284>
- López-Sandoval, D., Lara-Lara, R., Alvarez-Borrego, S., Gaxiola-Castro G. 2009a. Producción primaria fitoplanctonica por sensores remotos en la región frente a Cabo Corrientes, México. *Ciencias Marinas* 35:169-182. <http://www.cienciasmarinas.com.mx/index.php/cmarias/article/view/1530>
- López-Sandoval, D.C., Lara-Lara, J.R. and Álvarez-Borrego, S. 2009b. Phytoplankton production by remote sensing in the region off Cabo Corrientes, México. *Hidrobiológica* 19: 185-192. <http://www.redalyc.org/pdf/578/57812781001.pdf>
- Mackas, D.L. and Galbraith, M. 2002. Zooplankton community composition along the inner portion of the Line P during the 1997-1998 El Niño event. *Progress in Oceanography* 54: 423-437. https://www.researchgate.net/publication/223796022_Zooplankton_community_composition_along_the_inner_portion_of_Line_P_during_the_1997-1998_El_Nino_event
- Maldonado Villanueva, S. 2011. Hidrodinámica y transporte de sustancias en aguas costeras (Tesis de Maestría en Ciencias). Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F. 211 pp.
- McClathie, S., Goericke, R., Schwing, F.B., Bograd, S.J., Peterson, W.T., Emmet, R. *et al.* 2009. The state of the California current, spring 2008-2009: Cold conditions drive regional differences in coastal production. *California cooperative fisheries Investigations Report* 50: 43-68. http://calcofi.org/publications/calcofireports/v50/Calcofi_vol50_finals.pdf
- Miller, ChB. 2004. Biological oceanography. Oxford: *Blackwell Publishing* 450.
- Moncayo, R., Castro, J.L. and De la Cruz, J. 2006. Lista sistemática de la ictiofauna de Bahía de Banderas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 77: 67-80. http://www.redalyc.org/pdf/425/Resumenes/Resumen_42577108_1.pdf
- Paffenhofer, G. and Stearns, D. 1988. Why is *Acartia tonsa* (copepoda: calanoida) restricted to nearshore environmental? *Marine Ecology Progress Series* 42: 33-38. <http://www.int-res.com/articles/meps/42/m042p033.pdf>
- Palomares-García, R., Suárez Morales, E. and Hernández Trujillo, S. 1998. Catálogo de los copépodos (Crustacea) pelágicos del Pacífico Mexicano. México: Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN)/ Colegio de la Frontera Sur, 352.
- Palomares, G.R. and Gómez, G.J. 1996. Copepod community structure at Bahía Magdalena, Mexico during El Niño 1983-84. *Estuarine Coast Shelf Science* 43: 583-595. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S027277149690089X>
- Peterson, W.T. and Keister, J.E. 2003. Interannual variability in copepod community composition at a coastal station in the north California Current: a multivariate approach. *Deep-Sea Res. II* 50: 2499-2517. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967064503001309>
- Ramírez-Delgadillo, R. and Cupul-Magaña, F.G. 1999. Contribución al conocimiento de la flora de hia de Banderas, Nayarit Jalisco, México. *Ciencia Ergo Sum* 6(2): 135-146. https://scholar.google.com.mx/scholar?q=Contribuci%C3%B3n+al+conocimiento+de+la+flora+de+hia+de+Banderas%2C+Nayarit+Jalisco%2C+M%C3%A9xico.+Ciencia+Ergo+Sum+6%282%29%3A+135-146&btnG=&hl=es&as_sdt=0%2C5&as_vis=1
- Razouls, C., de Bovée, F., Kouwenberg J. and Desreumaux N. Diversity and geographic distribution of marine planktonic copepods. *Ultima consulta: 13 de septiembre 2012*. Disponible en <http://copepodes.obs-banyuls.fr/>
- Roden, G. 1972. Thermohaline structure and baroclinic flow across the Gulf entrance and the Revillagigedo Islands region. *Journal of Physical Oceanography* 2: 177-183. [http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0485\(1972\)002%3C0177%3ATSABFA%3E2.0.CO%3B2](http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0485(1972)002%3C0177%3ATSABFA%3E2.0.CO%3B2)
- Sanvicente-Anorve, L., Flores-Coto, C. and Sanchez-Velazco, L. 1998. Spatial and seasonal patterns of larval fish assemblages in the southern Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science* 62: 17-30. <http://www.ingentaconnect.com/content/umrsmas/bullmar/1998/00000062/00000001/art00003>

- Suarez-Morales, E., Franco-Gordo, C. and Saucedo, M. 2000. On the pelagic copepod community of the Central Mexican tropical pacific (autumn,1990). *Crustaceana* 73(6): 751-761. https://www.researchgate.net/publication/233623181_On_the_pelagic_Copepod_community_of_the_central_Mexican_tropical_Pacific_Autumn_1990
- Torres-Orozco, E., Trasviña, A., Muhlia-Melo, A. and Ortega-García, S. 2005. Mesoscale dynamics and yellowfin tuna catches in the Mexican Pacific. *Ciencias Marinas* 31(4): 671-683.
- Williamson, M. 1997. Marine Biodiversity in its global context. En: Ormond RFG, Gage JD, Angel MV, eds. Marine Biodiversity patterns and processes. *Cambridge: Cambridge University Press* 1-18.
- Wyrski, K. 1965. Surface currents in the eastern Equatorial Pacific Ocean. *Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin* 9: 270-304.
- Zamudio, L., Hurlburt, H.E., Metzger, E.J. and Smedstad, O.M. 2002. On the evolution of coastally trapped waves generated by Hurricane Juliette along the Mexican West Coast. *Geophysical Research Letters* 29 (23): 56.1-56.4. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2002GL014769/full>
- Zamudio, L., Hurlburt, H.E., Metzger, E.J. and Tilburg, C.E. 2007. Tropical wave-induced oceanic eddies at Cabo Corrientes and the Maria Islands, Mexico. *Journal of Geophysical Research* 112: C05048, doi: 10.1029/2006JC004018. https://www.researchgate.net/publication/235014296_Tropical_Wave-Induced_Oceanic_Eddies_at_Cabo_Corrientes_and_the_Maria_Islands_Mexico

Cite this paper/Como citar este artículo: Jimenez-Pérez, L.C. (2016). Copepod community structure in Bahía de Banderas during the 2008-2009 La Niña and their transition to the 2009-2010 El Niño. *Revista Bio Ciencias* 4(2): 82-103. <http://editorial.uan.edu.mx/BIOCIENCIAS/article/view/173/255>

