



Phytoplankton oceanographic characterization during El Niño 2004 event in the Northwest region of Baja California, Mexico

Caracterización oceanográfica del fitoplancton durante un evento El Niño 2004 en la región Noroccidental de Baja California, México

Miranda-Álvarez, A.C.¹ and Millán-Núñez, E.^{2,*}

¹Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas, Km 103 carretera Tijuana-Ensenada, Apartado Postal # 453, C.P. 22880, Ensenada, Baja California, México.

²Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Departamento de Ecología Marina, Carretera Ensenada-Tijuana No. 3918, Fraccionamiento Zona Playitas, C.P. 22860, Ensenada, Baja California, México.

ABSTRACT

An oceanographic cruise in front of the Coast of Baja California was carried from the 9th to the 29th day of July in 2004, in 91 stations at 10 m depth. The aim of this study was to identify the variability of phytoplankton and its oceanographic characterization in the coast-ocean region during an anomalous year with El Niño characteristics. Results showed a taxonomic composition of 21 phytoplankton genera in an interval size called nano-microphytoplankton: *Gymnodinium*, *Scrippsiella*, *Ceratium*, *Coscinodiscus*, *Oxytoxum*, *Gyrodinium*, *Protoperdinium*, *Nitzschia*, *Gonyaulax*. On the other hand, spatial distribution of light absorption coefficient for phytoplankton ($a_{ph,440}$) and chlorophyll-a (Chl-a) concentration showed high values in front of the San Quintin coast and south of Punta Eugenia, detecting a clear decrease towards the oceanic zone. In regard to the taxonomic composition of phytoplankton, a dominance of dinoflagellates in contrast to diatoms was observed, results coinciding with the basic characteristics of phytoplankton ecology during an El Niño event.

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: February 05th 2015.

Accepted/Aceptado: August 18th 2015.

RESUMEN

Se realizó un crucero oceanográfico frente a la costa de Baja California durante el periodo del 9 al 29 de julio de 2004 en 91 estaciones a la profundidad de 10 m. El objetivo del estudio fue conocer la variabilidad del fitoplancton y su caracterización oceanográfica en la región costa-océano durante un año anómalo con características de un evento El Niño. Los resultados mostraron una composición taxonómica de 21 géneros del fitoplancton en un intervalo de tamaño denominado nano-microfitoplancton: *Gymnodinium*, *Scrippsiella*, *Ceratium*, *Coscinodiscus*, *Oxytoxum*, *Gyrodinium*, *Protoperdinium*, *Nitzschia*, *Gonyaulax*. Por otro lado, la distribución espacial del coeficiente de absorción de luz por fitoplancton ($a_{ph,440}$) y la concentración de clorofila-a (Clor-a) mostraron valores altos frente a la costa de San Quintín y al sur de Punta Eugenia, detectándose una clara disminución hacia la zona oceánica. En relación a la composición taxonómica del fitoplancton se observó una dominancia de los dinoflagelados en relación a las diatomeas, coincidiendo nuestros resultados con las características básicas que presenta la ecología del fitoplancton durante un evento El Niño.

*Corresponding Author:

Millán-Núñez, Eduardo. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Departamento de Ecología Marina, Carretera Ensenada-Tijuana No. 3918, Fraccionamiento Zona Playitas, C.P. 22860, Ensenada Baja California, México. E-mail: emillan@cicese.mx

KEY WORDS

Phytoplankton, El Niño, Baja California.

PALABRAS CLAVE

Fitoplancton, El Niño, Baja California.

Introduction

During the past years, one of the main lines of research in biological oceanography is the increase of knowledge regarding the physiology of phytoplankton, its taxonomic variability at different time scales, and its ecological role in primary production; the latter added to the local or regional oceanographic processes that control the change in the community structure of phytoplankton. Historically, it has been showed that the pelagic ecosystem in front of Baja California has been influenced by oceanographic processes of great scale such as ENSO (El Niño South Oscillation), as published by Durazo and Baumgartner (2002) for the 1997-1998 period, reflecting characteristics of an anomalous event at a regional level: decrease of chlorophyll-*a* concentration, increase at sea level, rise in salinity and temperature; these conditions are opposite to La Niña event, as shown during the period 1999-2001 in the Southern region of the California Current (Millán-Núñez *et al.*, 2004; Espinosa-Carreón *et al.*, 2012). Authors as Bjorkstedt *et al.*, (2010) confirmed oceanographic anomalies of El Niño during the period 2002-2006. Hence, we consider that we can detect taxonomic changes in this study (July 2004), in the phytoplankton community in front of Baja California in contrast to La Niña event that occurred in 2001.

Study area

Study area was divided in 12 perpendicular transects in the coast and separated by 74 km, each line contains seven stations at a 37 km of distance amongst themselves, that go from the coast to 200 km within the ocean (oceanic zone). This stations network was located in front of the peninsula of Baja California between 25°-32° N Latitude and 113°-119° W Longitude (Figure 1). In the southern region of the California Current, it has been detected that the phytoplankton biomass mainly fluctuates due to the nutrient intake during the time of upwelling events, and in their great majority, these vertical events are provoked by the forcing of the wind with South direction and parallel to the coast (Legaard and Thomas, 2006; Rykaczewski and Checkley, 2008; Man-

Introducción

Durante los últimos años, una de las principales líneas de investigación en la oceanografía biológica es el incrementar el conocimiento acerca de la fisiología del fitoplancton, su variabilidad taxonómica a diferentes escalas de tiempo, así como su rol ecológico en la producción primaria; todo esto se suma a los procesos oceanográficos locales o regionales que controlan el cambio de la estructura de la comunidad del fitoplancton. Históricamente, se ha demostrado que el ecosistema pelágico frente a Baja California se ha visto influenciado por procesos oceanográficos de gran escala como el ENSO (El Niño Oscilación del Sur, por sus siglas en inglés), tal y como lo publicó Durazo y Baumgartner (2002) para el período 1997-1998, reflejando a un nivel regional las características propias de un evento anómalo: disminución de la concentración de clorofila-*a*, incremento en el nivel del mar, aumento en la salinidad y temperatura; estas condiciones son opuestas al evento denominado La Niña, tal y como se presentó durante el período 1999-2001 en la región sur de la Corriente de California (Millán-Núñez *et al.*, 2004; Espinosa-Carreón *et al.*, 2012). Autores como Bjorkstedt *et al.*, (2010) confirmaron para esta región anomalías oceanográficas propias de un evento El Niño durante el período 2002-2006. Por lo que consideramos en este estudio (Julio de 2004) poder detectar cambios taxonómicos en la comunidad del fitoplancton frente a Baja California en relación al evento denominado La Niña que ocurrió durante el 2001.

Área de estudio

El área de estudio se dividió en 12 transectos perpendiculares a la costa y separadas por 74 km, cada línea contiene siete estaciones a una distancia de 37 km entre sí y van desde la zona costa hasta 200 km mar adentro (zona oceánica). Esta red de estaciones se ubicó frente a la Península de Baja California entre los 25°-32° Latitud N. y 113°-119° de Longitud O. (Figura 1). En la región sur de la Corriente de California se ha detectado que la biomasa del fitoplancton fluctúa principalmente por el aporte de nutrientes durante la época de los eventos de surgencia, y en su gran mayoría estos eventos verticales son provocados por el forzamiento del viento con dirección sur y paralelo a la costa (Legaard y Thomas, 2006;

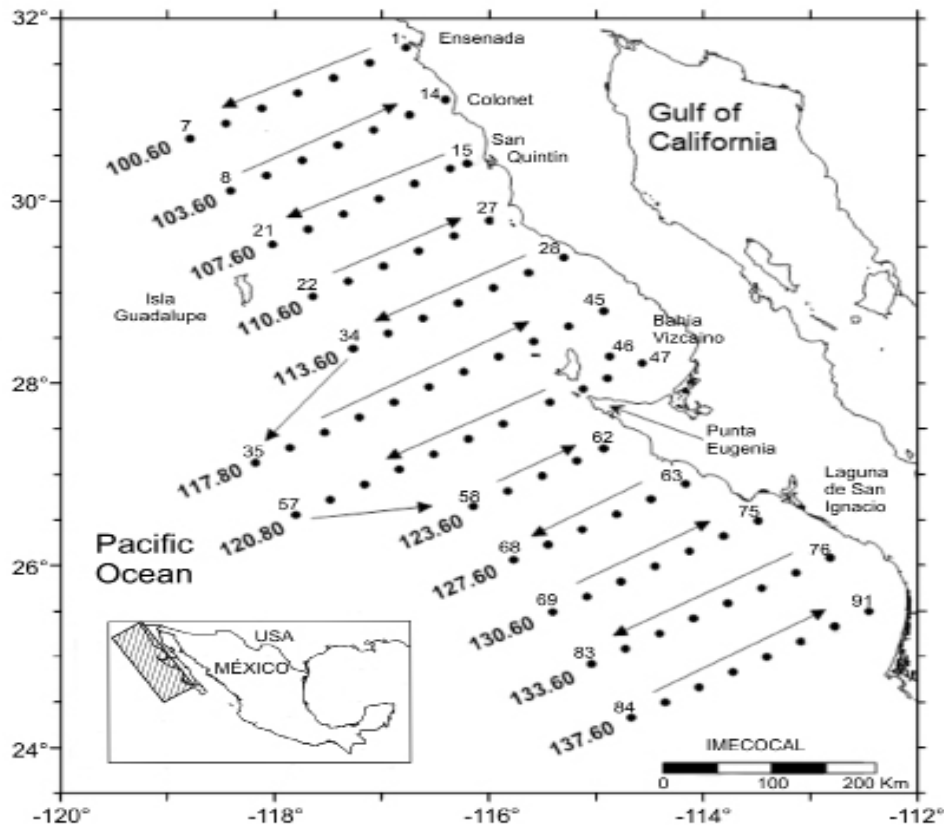


Figure 1. Study area and location of stations during July/2004 off Baja California. The samples were taken at 10 m depth.

Figura 1. Área de estudio y localización de estaciones durante Julio/2004 frente a Baja California. Las muestras se tomaron a 10 m de profundidad.

tyla *et al.*, 2008 and Thomas *et al.*, 2009). The effects of a pelagic system during an El Niño event in the California Current (CC) were reported for the first time by Bernal (1979) and Chelton *et al.*, (1982), observing a decrease in the primary production, and a clear diminishment in the abundance and diversity of marine birds. From the decade of the 1950s, the CC has been reported to reach depths of up to 600 m along the coast of Baja California, and a permanent flux of 50 cm s^{-1} , which is intensified along with the Northeast winds from there spring begins until the final time of summer, occurring the more intense upwelling events for the region in this period (Sverdrup *et al.*, 1942; Wooster and Reid, 1963; Hickey, 1979; Pares-Sierra, 1997 and Venrick, 2000).

Rykaczewski y Checkley, 2008; Mantyla *et al.*, 2008 y Thomas *et al.*, 2009). Los efectos de un sistema pelágico durante un evento El Niño en la Corriente de California (CC) fueron reportados por primera vez por Bernal (1979) y Chelton *et al.*, (1982), observándose un descenso en la producción primaria, así como una clara disminución en la abundancia y diversidad de aves marinas. A partir de la década de los 1950's se ha reportado que la CC a lo largo de la costa de Baja California (BC) alcanza profundidades hasta 600 m, y un flujo permanente de 50 cm s^{-1} el cual se intensifica conjuntamente con los vientos del noroeste desde que se inicia la primavera hasta finales de verano, ocurriendo en este período los eventos de surgencias más intensos de la región (Sverdrup *et al.*, 1942; Wooster y Reid, 1963; Hickey, 1979; Pares-Sierra, 1997 y Venrick, 2000).

Materials and Methods

Samples were collected in the South region of the CC off Baja California during the cruise in July 2004, with a total of 91 stations. During the project Mexican Investigations of the California Current (IMECOCAL) temperature and salinity data were obtained through a CTD (Conductivity-Temperature-Depth) system, model SBE 911-plus attached to a rosette with eight Niskin 5 L bottles. Samples for phytoplankton proceed from 10 m depth, stored in dark bottles preserved with formaldehyde at 4 % (neutralized with sodium borate) and pH amongst 7.5 and 8 (Thronsdén, 1978). To obtain the chlorophyll-*a* (Chl-*a*) pigment and light absorption coefficient by particulate material in suspension (a_p), 1L of sea water was filtered through glass microfibre filters GF/F of 25 mm of diameter, after, filters were placed in capsules HistoPrep® and were immediately frozen in liquid nitrogen for their posterior analysis in laboratory.

Structure of the phytoplankton community >5 μm

Phytoplankton analysis were carried out with the technique described by Utermöhl (1958) using an inverted microscope Carl Zeiss of 160x and 400x amplification, where cells higher than 5 μm size were observed and measured. Cells counting was made with the guide proposed by Hasle (1978). Cell measurements were carried in 100 fields for every sample at genus level and in special cases, it reached to a species level, for identification we based on literature from Cupp (1943), Hasle and Syvertsen (1997), Moreno *et al.*, (1997) and Tomas (1997). After, genera were ordered hierarchically in accordance to niche amplitude proposed by Levins (1978, modified by Millán-Núñez and Macías-Carballo, 2014) (equation 1), where genera of higher persistence were observed along the study area.

$$\beta_i = \exp \left[- \sum_{j=1}^K (P_{ij}/R_j) \ln (P_{ij}/R_j) \right] \quad (1)$$

Where: β_i is the niche index; P_{ij} is the proportion of genus *i* in the sample *j*; R_j is the sum of all its proportions in each point.

Coefficient of light absorption by phytoplankton

GF/F filters were extracted from liquid nitrogen and placed in petri dish on two drops of filtered sea water,

Materiales y Métodos

Las muestras se recolectaron en la región sur de la CC frente a Baja California durante el crucero de julio 2004 con un total de 91 estaciones. Durante el proyecto Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California (IMECOCAL) se obtuvieron datos de temperatura y salinidad a través de un sistema CTD (Conductivity-Temperature-Depth) modelo SBE 911-plus acoplado a una roseta con ocho botellas Niskin de 5 L. Las muestras para fitoplancton proceden de 10 m de profundidad almacenándose en botellas oscuras preservadas con formaldehído al 4 % (neutralizado con borato de sodio) y a un pH entre 7.5 y 8 (Thronsdén, 1978). Para la obtención del pigmento clorofila-*a* (Clor-*a*) y coeficiente de absorción de luz por material particulado en suspensión (a_p) se filtró 1L de agua de mar a través de filtros de fibra de vidrio GF/F de 25 mm de diámetro, posteriormente se pusieron los filtros en cápsulas HistoPrep® e inmediatamente se congelaron en nitrógeno líquido para su posterior análisis en laboratorio.

Estructura de la comunidad del fitoplancton >5 μm

Los análisis del fitoplancton se llevaron a cabo con la técnica descrita por Utermöhl (1958) utilizando un microscopio invertido Carl Zeiss de 160x y 400x de amplificación, donde se observaron y se midieron las células mayores a 5 μm de tamaño. Se realizaron los conteos de células con la guía propuesta por Hasle (1978). Las mediciones de las células se llevaron a cabo en 100 campos por cada muestra a nivel de género y en casos especiales se llegó a nivel de especie, para la identificación nos basamos en la literatura de Cupp (1943), Hasle y Syvertsen (1997), Moreno *et al.*, (1997), y Tomas (1997). Posteriormente, los géneros se ordenaron jerárquicamente de acuerdo a la amplitud de nicho propuesta por decir Levins (1978, modificado por Millán-Núñez y Macías-Carballo, 2014) (ecuación 1), donde se observaron los géneros de mayor persistencia a lo largo del área de estudio.

$$\beta_i = \exp \left[- \sum_{j=1}^K (P_{ij}/R_j) \ln (P_{ij}/R_j) \right] \quad (1)$$

Dónde: β_i es el índice de nicho; P_{ij} es la proporción del género *i* en la muestra *j*; R_j es la suma de sus proporciones en cada punto.

Coefficiente de absorción de luz por fitoplancton

Los filtros GF/F fueron extraídos del nitrógeno líquido y colocados en cajas de petri sobre dos gotas de agua de mar filtrada, posteriormente se determinó el coeficiente de absorción del material particulado en suspensión por el método espectrofotométrico en un Shimadzu UV-2401 PC, se le aplicó un barrido

after, the particulate material in suspension absorption coefficient was determined by the spectrophotometric in a Shimadzu UV-2401 PC, a spectral scanning of 400-750 nm was applied with a resolution of 1 nm, a band width of 2 nm, an average scanning velocity of 300 nm min⁻¹; thus the spectral curve of particulate material (a_p , m⁻¹) was obtained, posteriorly, filters were washed in methanol during 30 minutes following the technique described by Kishino *et al.*, (1985). Sample a_p was applied with a second spectral sweep to obtain the absorption coefficient by detritus or non-pigmented material (a_d , m⁻¹). Using the difference between the particulate material and the detritus, the light absorption coefficient by phytoplankton (a_{ph} , m⁻¹) (equation 2) was obtained. Absorption coefficient data (a_p , a_d , a_{ph}) were corrected by light scattering (factor- β), adjusting optical density in suspension (OD_{sus}) from filtered samples (OD_{fit}) (equation 3).

$$a_{ph}(\lambda) = a_p(\lambda) - a_d(\lambda) \quad (2)$$

$$OD_{sus} = 0.3385 (OD_{fit}) + 0.4770 (OD_{fit})^2 \quad (3)$$

Chlorophyll-a analysis

We used the BATS (Bermuda Atlantic Time Series) protocol for the Chl-a analysis recovering GF/F filters from the liquid nitrogen container and keeping them in 10 mL of acetone during 24 hours at 4 °C for its extraction of pigments. The concentration of the pigment was obtained directly, using the fluorimeter Trilogy model.

Results

Oceanographic characterization of the study area

Spatial distribution of temperature at 10 m depth showed values with a range from 12.8 to 23.1 °C (Figure 2a). In general, warm and hot waters dominated, excepting two coastal zones: one in front of the bay of San Quintín to the south of Punta Baja and the other on the south of Punta Eugenia, where cold waters with temperatures of around 14 °C were observed; while in the oceanic south region of Punta Eugenia high temperatures between 19.5 and 23 °C were detected. On the other hand, spatial salinity at 10 m depth showed a value a range between 33.1 to 34.0 (Figure 2b), low values of 33.25 dominated from the north zone to the central zone in the study area; unlike the southern zone of Punta Eugenia, where high salinity values between 33.7 to 34 were observed.

do espectral de 400-750 nm con una resolución de 1 nm, un ancho de banda de 2 nm, y una velocidad media de barrido de 300 nm min⁻¹; de esta manera se obtuvo la curva espectral del material particulado (a_p , m⁻¹), posteriormente los filtros se enjuagaron con metanol durante 30 minutos siguiendo la técnica descrita por Kishino *et al.*, (1985). A la muestra a_p se le aplicó un segundo barrido espectral para obtener el coeficiente de absorción por detritus o material no pigmentado (a_d , m⁻¹). Con la diferencia entre el material particulado y el detritus se obtuvo el coeficiente de absorción de luz por fitoplancton (a_{ph} , m⁻¹) (ecuación 2). Los datos del coeficiente de absorción (a_p , a_d , a_{ph}) se corrigieron por esparcimiento de luz (factor- β), ajustando la densidad óptica en suspensión (OD_{sus} , por sus siglas en inglés) de muestras filtradas (OD_{fit}) (ecuación 3).

$$a_{ph}(\lambda) = a_p(\lambda) - a_d(\lambda) \quad (2)$$

$$OD_{sus} = 0.3385 (OD_{fit}) + 0.4770 (OD_{fit})^2 \quad (3)$$

Análisis de clorofila-a

Para los análisis de Clor-a, utilizamos el protocolo de BATS (Bermuda Atlantic Time Series, por sus siglas en inglés) recuperando los filtros GF/F del contenedor nitrógeno líquido y manteniéndolos en 10 mL de acetona durante 24 horas a 4 °C para su extracción de pigmentos. Se obtuvo de forma directa la concentración del pigmento, utilizando un fluorímetro modelo Trilogy.

Resultados

Caracterización oceanográfica del área de estudio

La distribución espacial de temperatura a 10 m de profundidad mostró valores con un intervalo de 12.8 a 23.1 °C (Figura 2a). En general, dominaron las aguas templadas y calientes, a excepción de dos zonas costeras: una frente a la bahía de San Quintín hasta el sur de Punta Baja y la otra al sur de Punta Eugenia, donde se observaron aguas frías con temperaturas alrededor de 14 °C; mientras que en la región oceánica al sur de Punta Eugenia se detectaron temperaturas altas entre 19.5 y 23 °C. Por otro lado, la salinidad espacial a 10 m de profundidad mostró un intervalo de valores entre 33.1 a 34.0 (Figura 2b), dominando valores bajos de 33.25 en la zona norte hasta la zona central del área de estudio; a diferencia de la zona sur de Punta Eugenia donde se observaron valores altos de salinidad entre 33.7 a 34.

Distribución espacial de clorofila-a

La distribución espacial de Clor-a mostró un in-

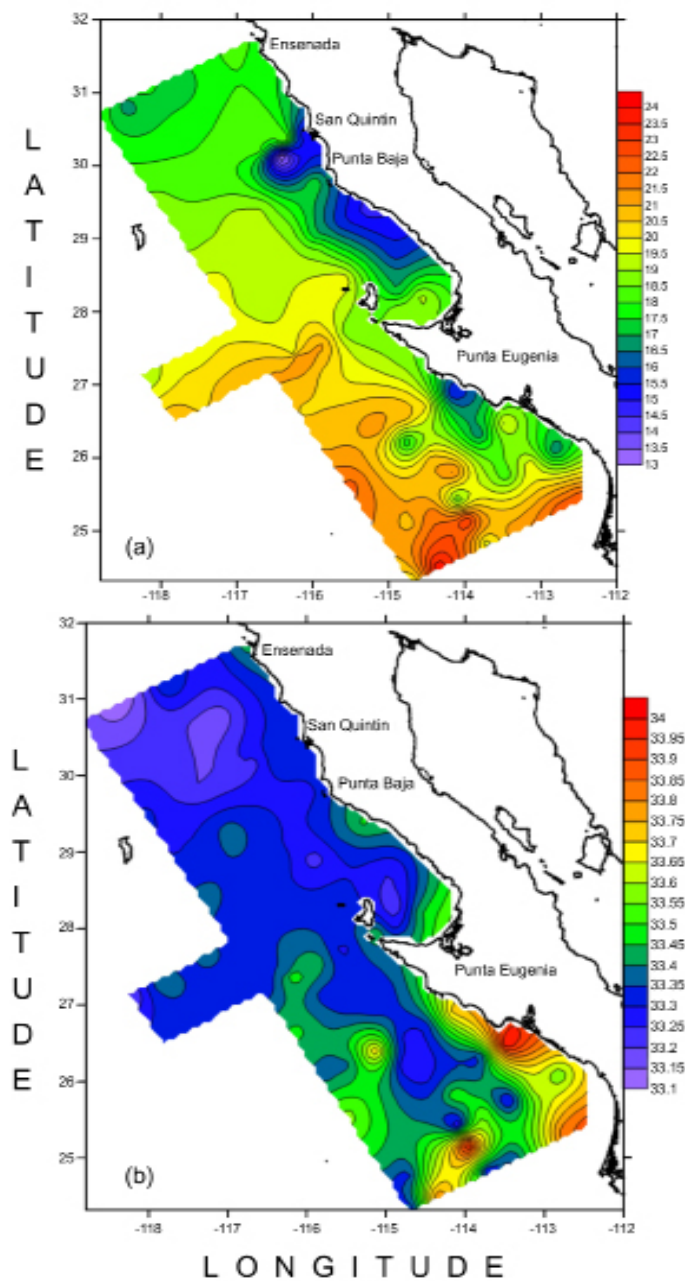


Figure 2. Spatial distribution: (a) temperature (°C) and (b) salinity. The samples were taken at 10 m depth during July/2004.

Figura 2. Distribución espacial: (a) temperatura (°C) y (b) salinidad. Las muestras se tomaron a 10 m de profundidad durante Julio/2004.

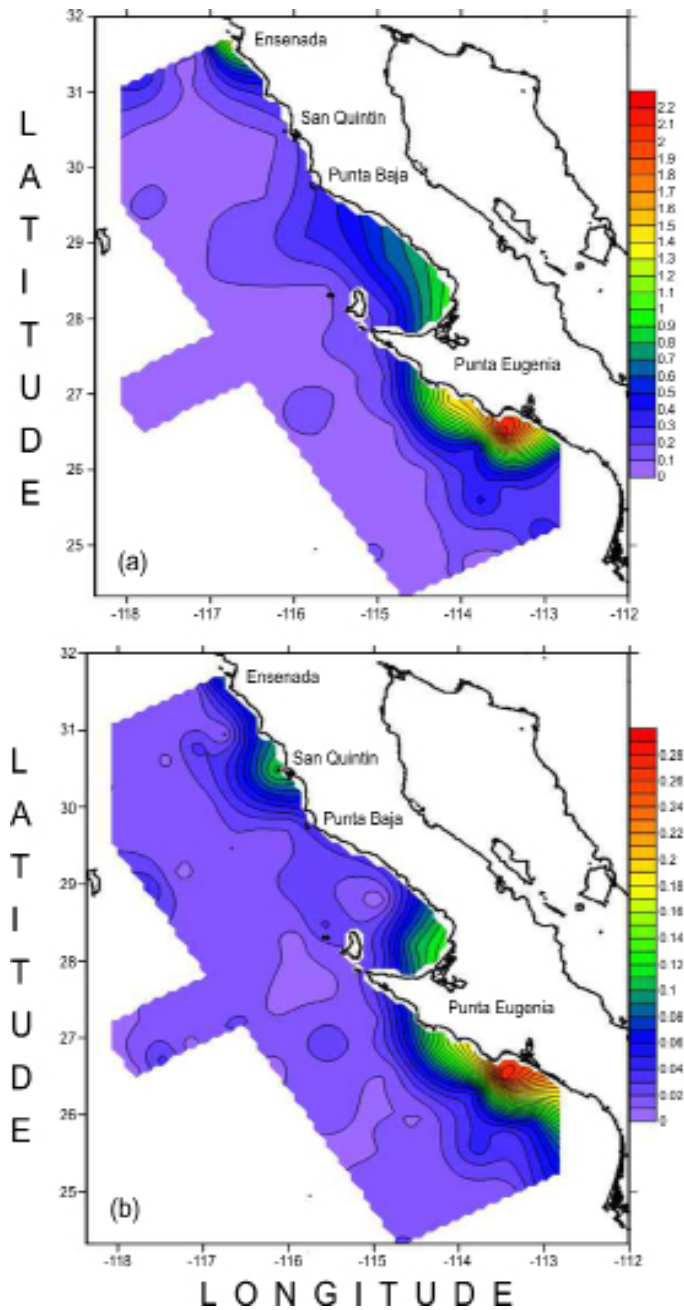


Figure 3. Spatial distribution: (a) chlorophyll-a (mg m^{-3}) and (b) absorption coefficient per phytoplankton ($a_{ph}/440 \text{ nm}$). The samples were taken at 10 m depth during July/2004.

Figura 3. Distribución espacial: (a) clorofila-a (mg m^{-3}) y (b) coeficiente de absorción por fitoplancton ($a_{ph}/440 \text{ nm}$). Las muestras se tomaron a 10 m de profundidad durante Julio/2004.

Table 1a.

Trans = transects showing a subset of the original CalCOFI grid, sta = stations, diatoms (cells L⁻¹), dinoflagellates (cells L⁻¹), chlorophyll-a (mg m⁻³), absorption coefficient of phytoplankton (a_{ph}, 440 nm), blue/red ratio (a_{ph}440/a_{ph}674 nm). Samples collected from 10 m depth during July/2004.

Tabla 1a.

Transectos similares a la red de estaciones de CalCOFI, diatomeas (células L⁻¹), dinoflagelados (células L⁻¹), clorofila-a (mg m⁻³), coeficiente de absorción por fitoplancton (a_{ph}, 440 nm), razón azul/rojo (a_{ph}440/a_{ph}674 nm). Muestras colectadas a 10 m de profundidad durante Julio/2004.

Trans	Sta.	Date/time (day/GMT)	Diatoms (cells L ⁻¹)	Dinoflag (cells L ⁻¹)	Chl-a (mg m ⁻³)	a _{ph} 440 (m ⁻¹)	B/R 440/674 (λ)
100.30	1	09/07/04/22:37	825	24889	1.34	0.082	2.31
100.35	2	10/07/04/03:13	138	2340	0.11	0.010	2.91
100.40	3	10/07/04/08:19	138	3163	0.10	0.013	3.59
100.45	4	10/07/04/12:42	276	2613	0.37	0.017	3.28
100.50	5	10/07/04/16:51	414	1237	0.10		
103.60	8	11/07/04/11:30	0	825			
103.55	9	11/07/04/15:50	138	963	0.08	0.010	3.84
103.50	10	12/07/04/00:01	138	826	0.06	0.018	5.70
103.45	11	12/07/04/04:02	0	1100	0.08	0.007	2.83
103.40	12	12/07/04/08:20	138	2612	0.08	0.036	2.61
103.35	13	12/07/04/12:37			0.11	0.008	2.60
103.30	14	12/07/04/17:30	3025	50051	0.39	0.033	2.10
107.32	15	12/07/04/22:37	138	2064		0.011	3.11
107.35	16	13/07/04/01:45	276	827	0.11		
107.40	17	23/07/04/05:48	276	688	0.26		
107.45	18	13/07/04/10:27	414	687		0.011	3.75
107.50	19	13/07/04/14:03	138	550	0.08	0.010	3.40
107.55	20	13/07/04/14:46	138	0	0.11	0.011	2.64
107.60	21	14/07/04/23:59	276	1238	0.08	0.005	6.94
110.60	22	14/07/04/05:54	0	1376	0.10	0.041	2.46
110.50	24	14/07/04/13:52	0	551	0.10	0.013	3.23
110.45	25	14/07/04/17:51	276	826	0.11	0.021	3.49
110.40	26	14/07/04/22:59	0	1239	0.10	0.014	4.14
110.35	27	15/07/04/03:48	413	2200		0.022	3.42
113.40	30	15/07/04/20:00	0	3438	0.30	0.024	2.08
113.45	31	16/07/04/00:31	0	2201	0.30		
113.50	32	16/07/04/04:45	0	963	0.12		
113.55	33	16/07/04/08:45	138	1512	0.47	0.011	3.29
113.60	34	16/07/04/12:52	138	963	0.10	0.015	3.06
117.80	35	17/07/04/01:42	0	1512	0.12		
117.75	36	17/07/04/05:21	0	1512	0.08	0.011	1.83
117.70	37	17/07/04/09:19	0	1239		0.015	5.65
117.65	38	17/07/04/13:19	138	551	0.13	0.011	2.74
117.60	39	17/07/04/18:42	0	1102	0.10	0.016	4.06
117.55	40	17/07/04/22:56	0	0	0.09		
117.50	41	18/07/04/02:34	0	1650	0.07	0.014	3.53
117.45	42	18/07/04/06:39	0	138	0.07	0.005	1.33
117.40	43	18/07/04/12:09	0	0	0.10	0.033	2.63
117.35	44	18/07/04/16:00	412	3851	0.2		
117.30	45	18/07/04/20:05	138	963	0.59	0.031	2.91
120.30	47	20/07/04/02:46	0	1375	0.63		3.45
120.40	49	20/07/04/10:03	138	2339	0.26	0.095	
120.45	50	20/07/04/14:38	138	2749	0.12	0.035	2.69
120.55	52	21/07/04/00:39	0	1925	0.07	0.008	2.39
120.60	53	21/07/04/04:38	0	1101	0.07	0.021	4.55
120.65	54	21/07/04/08:52	0	1377		0.020	4.98
120.70	55	21/07/04/13:08	0	825	0.08	0.005	1.60
120.75	56	21/07/04/22:04	138	826	0.08	0.035	2.64
120.80	57	21/07/04/22:54	0	1100	0.08	0.005	3.17

Table 1b.

Trans = transects showing a subset of the original CalCOFI grid, sta = stations, diatoms (cells L⁻¹), dinoflagellates (cells L⁻¹), chlorophyll-a (mg m⁻³), absorption coefficient of phytoplankton (a_{ph}, 440 nm), blue/red ratio (a_{ph} 440/a_{ph} 674 nm). Samples collected from 10 m depth during July/ 2004.

Tabla 1b.

Transectos similares a la red de estaciones de CalCOFI, diatomeas (células L⁻¹), dinoflagelados (células L⁻¹), clorofila-a (mg m⁻³), coeficiente de absorción por fitoplancton (a_{ph}, 440 nm), razón azul/rojo (a_{ph} 440/a_{ph} 674 nm). Muestras colectadas a 10 m de profundidad durante Julio/2004.

Trans	Sta.	Date/time (day/GMT)	Diatoms (cells L ⁻¹)	Dinoflag (cells L ⁻¹)	Chl- <i>a</i> (mg m ⁻³)	a _{ph} 440 (m ⁻¹)	B/R 440/674 (λ)
123.55	59	22/07/04/18:29	138	1237	0.17	0.018	3.04
123.50	60	23/07/04/23:53	138	551	0.10	0.030	6.64
123.45	61	23/07/04/04:11	0	550	0.11	0.012	3.05
123.40	62	23/07/04/08:45	0	1100	0.13	0.016	2.44
127.35	63	23/07/04/17:47	0	414	1.42	0.145	2.33
127.40	64	23/07/04/22:17	276	1238			
127.45	65	24/07/04/03:00	0	414	0.08	0.012	4.15
127.50	66	24/07/04/07:44	138	1100	0.08		
127.55	67	24/07/04/12:15	413	552	0.10	0.014	3.25
127.60	68	24/07/04/17:44	0	688	0.08	0.012	3.34
130.60	69	25/07/04/00:30	0	963	0.08	0.009	3.11
130.55	70	25/07/04/04:20	0	826	0.08	0.011	2.65
130.50	71	25/07/04/08:28	276	413	0.08	0.012	4.35
130.45	72	25/07/04/12:25	0	688	0.08	0.010	4.23
130.40	73	25/07/04/18:30	138	1100	0.35	0.034	2.77
130.35	74	25/07/04/22:54	138	1651	0.39	0.053	3.25
130.30	75	25/07/04/02:38	138	276	2.21	0.283	2.67
133.25	76	26/07/04/08:28	0	1238		0.157	2.48
133.30	77	26/07/04/12:12	0	1374	0.39	0.066	3.26
133.35	78	26/07/04/15:38	0	825	0.26	0.032	3.24
133.40	79	26/07/04/20:37	0	3300	0.43	0.049	3.06
133.45	80	27/07/04/01:14	138	3438	0.08		
133.50	81	27/07/04/05:07	138	138	0.06	0.010	3.45
133.55	82	27/07/04/09:07	0	826	0.08	0.013	3.44
133.60	83	27/07/04/12:54	414	2063		0.014	3.36
137.60	84	27/07/04/02:12	138	2889	0.08	0.021	3.77
137.50	86	28/07/04/09:32	138	1101	0.06	0.016	4.00
137.45	87	28/07/04/13:43	0	688	0.35	0.012	4.32
137.40	88	28/07/04/17:55	138	1099	0.43	0.014	2.85
137.35	89	28/07/04/22:42	0	963	0.26	0.043	3.04
137.30	90	29/07/04/02:32	138	1789	0.13		
137.25	91	29/07/04/04:21	138	2200			

Spatial distribution of chlorophyll-a

Spatial distribution of Chl-a showed a value interval from 0.1 to 2.2 mg m⁻³ towards the coastal-ocean zone, higher concentration was detected in front of Ensenada and south of Punta Eugenia; unlike the oceanic zone where low concentrations from 0.1 to 0.6 mg m⁻³ (Figure 3a, Tables 1a-b) were observed.

Taxonomic composition of phytoplankton >5 µm

A total of 21 genera of phytoplankton within an range of size denominated nano-microphytoplankton were identified, observing 9 diatoms genera and 12 dinoflagellates (Tables 2a-d). After, organisms from the phytoplankton were ordered using the equation 1. This equation allowed us to classify them in importance order, meaning, the higher the amplitude of the niche (Bi), higher its presence through the study area. Hence, a clear dominium of the dinoflagellates group (9) was detected on the diatoms (4) in relation to the presence of the first 13 genera of phytoplankton, described as follows: *Gymnodinium*, *Scrippsiella*, *Ceratium*, *Coscinodiscus*, *Oxytoxum*, *Gyrodinium*, *Protoperdinium*, *Nitzschia*, *Gonyaulax*, *Hemiaulus*, *Dinophysis*, *Navicula*, *Prorocentrum*. The rest of the genera (8) showed a scarce presence through the study area (values >0.200 in relation to Pij/Rj) equivalent to the presence of rare or scarce species. In this study, we consider that transect 107 showed favorable conditions for the development of the phytoplankton, mainly in coastal stations.

Light absorption coefficient by phytoplankton (a_{ph})

In the typical spectral shape of a_{ph} (λ), two main peaks of absorption are recognized: one at 440 nm and another at 674 nm. In general, the value at 440 nm represents the blue zone or region between 440-550 nm of range, space where most of pigments and carotenoids are detected, unlike the wavelength at 674 nm, which represents the red region where chlorophyll-a absorbs light. In this study, a value range of a_{ph} (440 nm) between 0.003-0.489 (m⁻¹) (Figure 3b) was detected, observing a clear dominium of low values in the oceanic region, unlike the high values found mainly in the coastal zone. On the other hand, the relation blue/red (B/R) from the spectral curve was used as a way to detect the average size of the phytoplankton population, where high values of B/R suggest dominance of small cells and vice versa in low values (Tables 1a-b).

intervalo de valores entre 0.1 a 2.2 mg m⁻³ en la dirección océano-costa, detectándose la mayor concentración frente a Ensenada y al sur de Punta Eugenia; a diferencia de la zona oceánica donde se observaron bajas concentraciones entre 0.1 a 0.6 mg m⁻³ (Figura 3a, Tablas 1a-b).

Composición taxonómica del fitoplancton >5 µm

Se identificó un total de 21 géneros del fitoplancton entre un intervalo de tamaño denominado nano-microfitoplancton, observándose 9 géneros de diatomeas y 12 de dinoflagelados (Tablas 2a-d). Posteriormente, se ordenaron los organismos del fitoplancton utilizando la ecuación 1. Esta ecuación nos permitió clasificarlos en un orden de importancia, es decir, mientras mayor fue la amplitud de nicho (Bi) mayor su presencia a través del área de estudio. De esta manera, se detectó un claro dominio del grupo dinoflagelados (9) sobre las diatomeas (4) en relación a la presencia de los primeros 13 géneros del fitoplancton como a continuación se describe: *Gymnodinium*, *Scrippsiella*, *Ceratium*, *Coscinodiscus*, *Oxytoxum*, *Gyrodinium*, *Protoperdinium*, *Nitzschia*, *Gonyaulax*, *Hemiaulus*, *Dinophysis*, *Navicula*, *Prorocentrum*. El resto de los géneros (8) mostraron en general una escasa presencia a través del área de estudio (valores >0.200 en relación a Pij/Rj) equivalente a la presencia de especies raras ó escasas. En este estudio, consideramos que el transecto 107 mostró condiciones favorables para el desarrollo del fitoplancton principalmente en las estaciones costeras.

Coefficiente de absorción de luz por fitoplancton (a_{ph})

En la típica magnitud espectral de a_{ph} (λ) se reconocen dos principales picos de absorción: uno a 440 nm y otro a 674 nm. En general, el valor a 440 nm representa la zona azul ó región entre 440-550 nm de intervalo, espacio donde se detectan la mayoría de los pigmentos y carotenoides, a diferencia de la longitud de onda a 674 nm que representa la región roja donde solo absorbe luz la clorofila-a. En este estudio, se detectó un intervalo de valores de a_{ph} (440 nm) entre 0.003-0.489 (m⁻¹) (Figura 3b), observándose un claro dominio de valores bajos en la región oceánica, a diferencia de los valores altos que se encontraron principalmente en la zona costera. Por otra parte, se utilizó la relación azul/rojo (B/R) de la curva espectral como una manera de detectar el promedio del tamaño de la población del fitoplancton, donde los valores altos de B/R sugieren una dominancia de células pequeñas y viceversa en los valores bajos (Tablas 1a-b).

Discusión

Para determinar las diferencias oceanográficas ocurridas en este estudio, nos basamos principalmente en

Table 2a.

Spatial distribution of Niche Amplitude Index (Bi) from nano-microphytoplankton genera at 10 m depth during July/2004. The number lowest fraction represent the dominant cells along all transects. Station 1-26.

Tabla 2a.

Distribución espacial de Amplitud de Nicho en los géneros del nano-microfitoplancton a 10 m de profundidad durante Julio/2004. El número de fracción menor representa a células dominantes a lo largo de los transectos. Estaciones 1-26.

Stations	1	2	3	4	5	8	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	23	24	25	26
Genus																						
1-Gymnodinium	0.011	0.010	0.012	0.007	0.013	0.009	0.016	0.010	0.011	0.017	0.017	0.012	0.004	0.007		0.010		0.012	0.008	0.009	0.011	0.013
2-Scrippsiella	0.004	0.014	0.010	0.010										0.035	0.092			0.022	0.026			
3-Ceratium	0.033	0.041	0.031	0.041		0.086		0.101				0.015	0.061		0.049					0.027		
4-Coscinodiscus	0.005				0.040	0.002	0.024							0.069	0.060	0.097		0.044	0.025		0.060	
5-Oxytoxum	0.048											0.032									0.064	
6-Gyrodinium		0.023	0.035	0.035		0.001						0.026	0.053	0.060					0.022	0.047		
7-Protoperdinium				0.093								0.035							0.088	0.062		
8-Nitzschia					0.034	0.005			0.051			0.025	0.058	0.051		0.405	0.037				0.051	
9-Gonyaulax	0.010		0.025					0.076					0.076	0.152								0.153
10-Hemiaulus	0.036					0.008							0.406						0.171			
11-Dinophysis	0.177	0.258				0.108													0.245			
12-Navicula			0.107	0.107					0.321						0.321							
13-Procoentrum	0.033					0.010																
Lingulodinium																						
Rhizosolenia		0.267		0.200																		
Thalassionema					0.227																	
Peridinium	0.071																			0.720		
Bacteriastrium							1															
Chaetoceros							1															
Gramatophora																						
Podolampas	1																					

Table 2b.

Spatial distribution of Niche Amplitude Index from nano-microphytoplankton genera at 10 m depth during July/2004. The number lowest fraction represent the dominant cells along all transects. Station 27-52.

Tabla 2b.

Distribución espacial de Amplitud de Nicho en los géneros del nano-microfitoplancton a 10 m de profundidad durante Julio/2004. El número de fracción menor representa a células dominantes a lo largo de los transectos. Estaciones 27-52.

Stations	27	28	30	31	32	33	34	35	36	38	39	41	42	43	44	45	47	48	49	50	51	52
Genus																						
1-Gymnodinium	0.010	0.015	0.014	0.013	0.014	0.014	0.013	0.014	0.007	0.017	0.013	0.013	0.010	0.013	0.017	0.015	0.017	0.011	0.013	0.012	0.015	0.014
2-Scrippsiella				0.015					0.064									0.062	0.014	0.023		
3-Ceratium	0.049								0.008		0.019	0.031										
4-Coscinodiscus							0.060						0.096					0.030		0.023		
5-Oxytoxum	0.103			0.032							0.040					0.047				0.073		0.074
6-Gyrodinium		0.042	0.034			0.053	0.014				0.053	0.084	0.047									0.047
7-Protoperdinium		0.045						0.080	0.036					0.062								
8-Nitzschia											0.031									0.023		
9-Gonyaulax				0.076															0.038			
10-Hemiaulus									0.157													
11-Dinophysis																						
12-Navicula																						
13-Procoentrum					0.290	0.169																
Lingulodinium																						
Rhizosolenia											0.081									0.139		
Thalassionema						0.228																
Peridinium										0.209												
Bacteriastrium																						
Chaetoceros																						
Gramatophora																						
Podolampas																						

Table 2c.

Spatial distribution of Niche Amplitude Index from nano-microphytoplankton genera at 10 m depth during July/2004. The number lowest fraction represent the dominant cells along all transects. Station wavelength 53-74.

Tabla 2c.

Distribución espacial de Amplitud de Nicho en los géneros del nano-microfitoplancton a 10 m de profundidad durante Julio/2004. El número de fracción menor representa a células dominantes a lo largo de los transectos. Estaciones 53-74.

Stations	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74
Genus																						
1-Gymnodinium	0.011	0.009	0.012	0.010	0.015	0.013	0.017	0.010	0.010	0.017	0.011	0.011	0.011	0.011	0.008	0.013		0.012	0.015	0.013	0.010	0.014
2-Scrippsiella	0.031	0.027				0.062		0.049	0.025			0.045		0.062	0.062	0.049		0.038		0.049		
3-Ceratium		0.054	0.035	0.049											0.031	0.061						
4-Coscinodiscus			0.069									0.044										0.096
5-Oxytoxum	0.065			0.103	0.065														0.040			
6-Gyrodinium		0.047															0.211					
7-Protoperidinium													0.186									0.093
8-Nitzschia									0.041			0.037										0.081
9-Gonyaulax									0.122		0.203											
10-Hemiaulus																			0.126			
11-Dinophysis																						
12-Navicula																						
13-Prorocentrum																						
Lingulodinium	0.156																0.624					
Rhizosolenia																					0.533	
Thalassionema								0.545														
Peridinium																						
Bacteriastrum																						
Chaetoceros																						
Gramatophora																						
Podolampas																						

Table 2d.

Spatial distribution of Niche Amplitude Index from nano-microphytoplankton genera at 10 m depth during July/2004. The number lowest fraction represent the dominant cells along all transects. Station 75-91.

Tabla 2d.

Distribución espacial de Amplitud de Nicho en los géneros del nano-microfitoplancton a 10 m de profundidad durante Julio/2004. El número de fracción menor representa a células dominantes a lo largo de los transectos. Estaciones 75-91.

Stations	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	Bi
Genus																		
1-Gymnodinium	0.012	0.017	0.017	0.017	0.012	0.015	0.017	0.011	0.010	0.014	0.012	0.014	0.015	0.013	0.011	0.013	0.012	77.98
2-Scrippsiella	0.035				0.010				0.027	0.015							0.022	24.08
3-Ceratium	0.035								0.014		0.018	0.035		0.049	0.027			21.87
4-Coscinodiscus						0.019			0.027				0.054		0.054			17.49
5-Oxytoxum						0.040		0.086	0.029		0.037						0.023	16.44
6-Gyrodinium					0.035						0.030							16.24
7-Protoperidinium					0.093			0.093		0.033								11.56
8-Nitzschia									0.023		0.029						0.018	9.53
9-Gonyaulax															0.068			8.93
10-Hemiaulus										0.096								4.97
11-Dinophysis																	0.211	4.81
12-Navicula									0.143									4.42
13-Procentrum																0.405	0.092	4.08
Lingulodinium																		2.89
Rhizosolenia																		2.74
Thalassionema																		2.73
Peridinium																		2.12
Bacteriastrum																		1
Chaetoceros																		1
Gramatophora																		1
Podolampas																		1

Discussion

To determine the oceanographic differences occurred in this study, we based mainly in temperature, salinity, $25\sigma_\theta$ (Jerónimo and Gómez-Valdéz, 2006) data, and the magnitude of upwelling events that occurred in front off Baja California. These variables, along with the information of climate, help us detect susceptible changes of the regional oceanographic anomaly. Obtained information is reinforced with the results published by Goericke *et al.*, (2007), where these authors confirmed that ENSO in 2004 for the south region of CC showed a weak signal in

los datos de temperatura, salinidad, $25\sigma_\theta$ (Jerónimo y Gómez-Valdéz, 2006), así como en la magnitud de los eventos de surgencias que ocurrieron frente a Baja California. Estas variables, junto con la información de climatología nos ayudan a detectar los cambios susceptibles de la anomalía oceanográfica regional. La información obtenida se fortalece con los resultados publicados por Goericke *et al.*, (2007), donde estos autores confirmaron que el ENSO del 2004 para la región sur de la CC mostró una señal débil en comparación con los eventos del 1982-83 y 1997-98 que fueron considerados como una anomalía fuerte (Figura 4).

comparison to the events 1982-83 and 1997-98 that were considered a strong anomaly (Figure 4).

To understand the biological susceptibility during a weak event of El Niño, as we reported in this study in 2004, a comparison of results with Sanchez-Perez (2005) corresponding a moderate La Niña event during July 2001 was made. Between these two anomalous events, differences of temperature between 12 and 21 °C for 2001 and between 13 and 24 °C in 2004 were found, observing an increase of 3 °C in this study, which was classified as a weak El Niño event (Figures 5a-b).

In relation to the maximum of phytoplankton detected during July 2001 (403,860 cells L⁻¹) compared to abundance of 50,900 cells L⁻¹ reported in this study, a decrease of 80 % in cells was detected in relation to La Niña 2001 (Figure 6a-b). In addition, the amplitude value of the niche (Bi) was observed to have shown a relation of 9 genera of dinoflagellates versus 4 diatoms in the spatial coverage of the first 13 genera; observing a clear dominance of the dinoflagellates up to a 97 %. The rest of the genera contributed to approximately a 38 %, showing a scarce presence along the area of study, dominating, mainly, diatoms as presence of rare species.

In general, tables 2a-d confirmed the presence of dinoflagellates as dominant group over diatoms, which suggests a major stratification of the water column with physical-chemical characteristics appropriate for the development of this taxonomic group (Figures 7a and 7c). Another important issue is the oceanographic conditions of the coastal stations of the transect 107, which showed a front with the intrusion of water from the Subarctic of low salinity off Baja California (Figure 7b), these waters from the Subarctic possess the characteristic of the term HNLC (high nutrients low chlorophyll), so we consider this intrusion as a generator of a debilitation on the processes of vertical mix, as reported by Goericke *et al.*, (2007) and Espinosa-Carreón *et al.*, (2015). These authors concluded that the intrusion of the Subarctic off Baja California generated changes in the epipelagic ecosystem dynamic, affecting the biomass of the phytoplankton and the primary production. Values of B/R and Chl-a showed important changes at 10 m depth (Table 1a-b). In the stations that were far from the coast, high values of B/R (>5) were detected, related to low values of chlorophyll-a (Figure 8). This implicates that phytoplankton cells dominated mainly in the structure of the

Para entender la susceptibilidad biológica durante un evento débil de El Niño, tal y como lo reportamos en este estudio del 2004, se llevó a cabo una comparación de los resultados de Sánchez-Pérez (2005) que correspondieron a un evento moderado La Niña durante julio del 2001. Entre estos dos eventos anómalos se encontraron diferencias de temperatura entre 12 y 21 °C para el 2001 y entre 13 y 24 °C en el 2004, observando un aumento de 3 °C en este estudio el cual se le clasificó como un evento débil El Niño (Figuras 5a-b).

En relación al máximo de fitoplancton que se detectó durante julio/2001 (403,860 células L⁻¹) comparado con la abundancia de 50,900 células L⁻¹ reportado en este estudio; estas cifras indicaron un decremento de células en un 80 % en relación al evento La Niña del 2001 (Figura 6a-b). Asimismo, se observó que el valor de amplitud de nicho (Bi) mostró una relación de 9 géneros de dinoflagelados versus 4 de diatomeas en la cobertura espacial de los primeros 13 géneros; observándose una clara dominancia de los dinoflagelados hasta en un 97 %. El resto de los géneros contribuyeron aproximadamente en un 38 % mostrando una escasa presencia a lo largo del área de estudio, dominando principalmente en este estudio las diatomeas como presencia de especies raras.

En general, las tablas 2a-d confirmaron la presencia de dinoflagelados como grupo dominante sobre las diatomeas, lo que sugiere una mayor estratificación de la columna de agua con características físico-químicas adecuadas para el desarrollo de este grupo taxonómico (Figuras 7a y 7c). Otro punto importante, son las condiciones oceanográficas de las estaciones costeras del transecto 107 que mostraron un frente con la intrusión del agua del Subártico de baja salinidad frente a Baja California (Figura 7b), estas aguas del subártico poseen las características propias del término HNLC (altos nutrientes baja clorofila, por sus siglas en inglés); por lo que consideramos que esta intrusión generó un debilitamiento en los procesos de mezcla vertical, tal y como lo reportó Goericke *et al.*, (2007) y Espinosa-Carreón *et al.*, (2015). Estos autores, concluyeron que la intrusión de la Subártica frente a BC generó cambios en la dinámica del ecosistema epipelágico, afectando la biomasa del fitoplancton y producción primaria. Los valores de la razón B/R y Clor-a mostraron en este estudio, cambios importantes a 10 m de profundidad (Tabla 1a-b). En las estaciones más alejadas de la costa se detectaron valores altos de B/R (>5) relacionados con valores bajos de clorofila-a (Figura 8). Esto implica que células del picoplancton dominaron en su mayoría la estructura de la comunidad del fitoplancton, este tipo de información concuerda con datos de otras áreas oceánicas

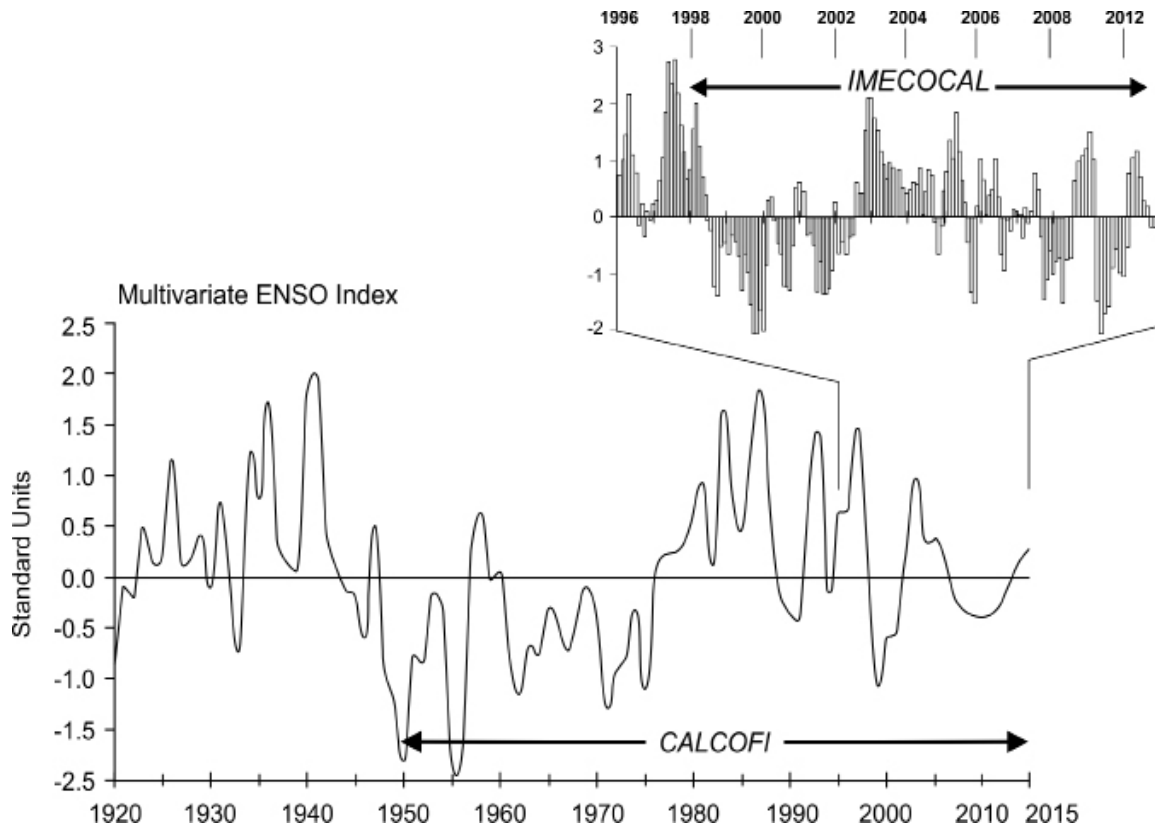


Figure 4. The interannual to interdecadal variability of the Multivariate ENSO Index of the IMECOAL and CalCOFI Programmes in the region of the California Current for the period 1920-2014. It is modification of the figure 3 from Baumgartner *et al.*, (2008) in Globec International Newsletter.

Figura 4. Variabilidad interanual a decadal del Índice Multivariado ENSO de los programas IMECOAL y CalCOFI en la región de la Corriente de California durante el período 1920-2014. Se modificó la figura 3 de Baumgartner *et al.*, (2008) en Globec International Newsletter.

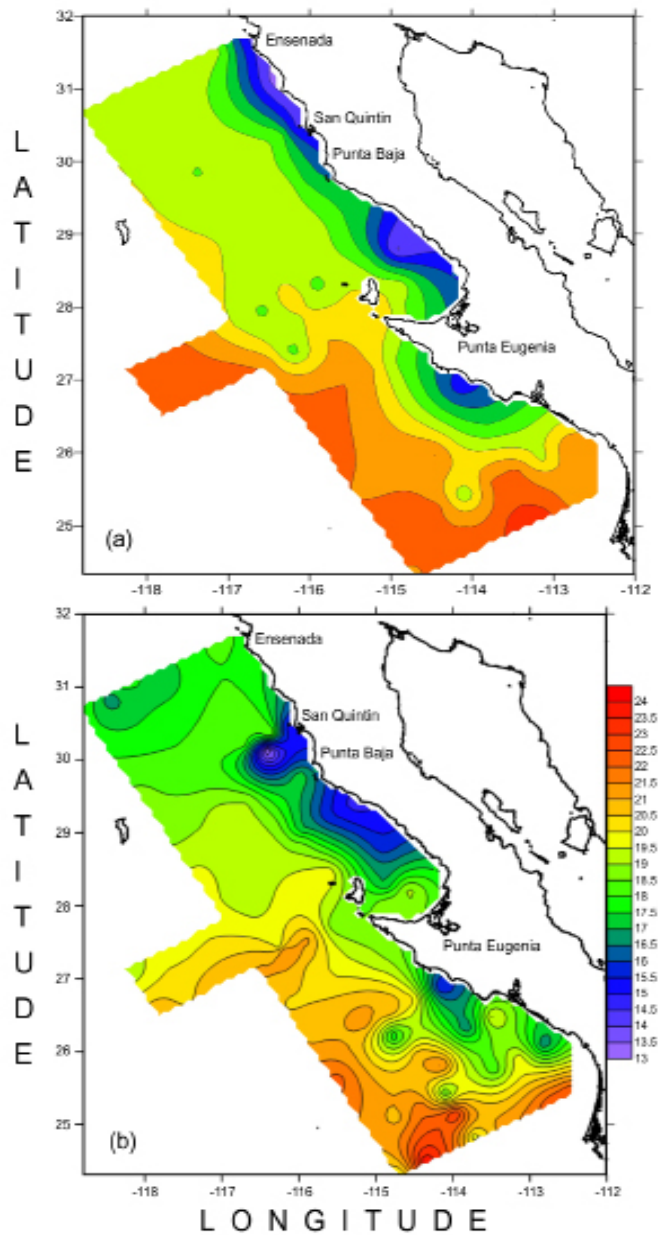


Figure 5. Two events comparison of temperature anomaly ($^{\circ}\text{C}$) at 10 metre depth during: (a) La Niña 2001, and (b) El Niño 2004. IMECOCAL cruises. The data set July/2001 was taken from Sánchez-Pérez (2005).

Figura 5. Comparación entre dos eventos anómalos de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a 10 metros de profundidad durante: (a) La Niña 2001, y (b) El Niño 2004. Cruceros de IMECOCAL. Los datos de Julio/2001 fueron tomados de Sánchez-Pérez (2005).

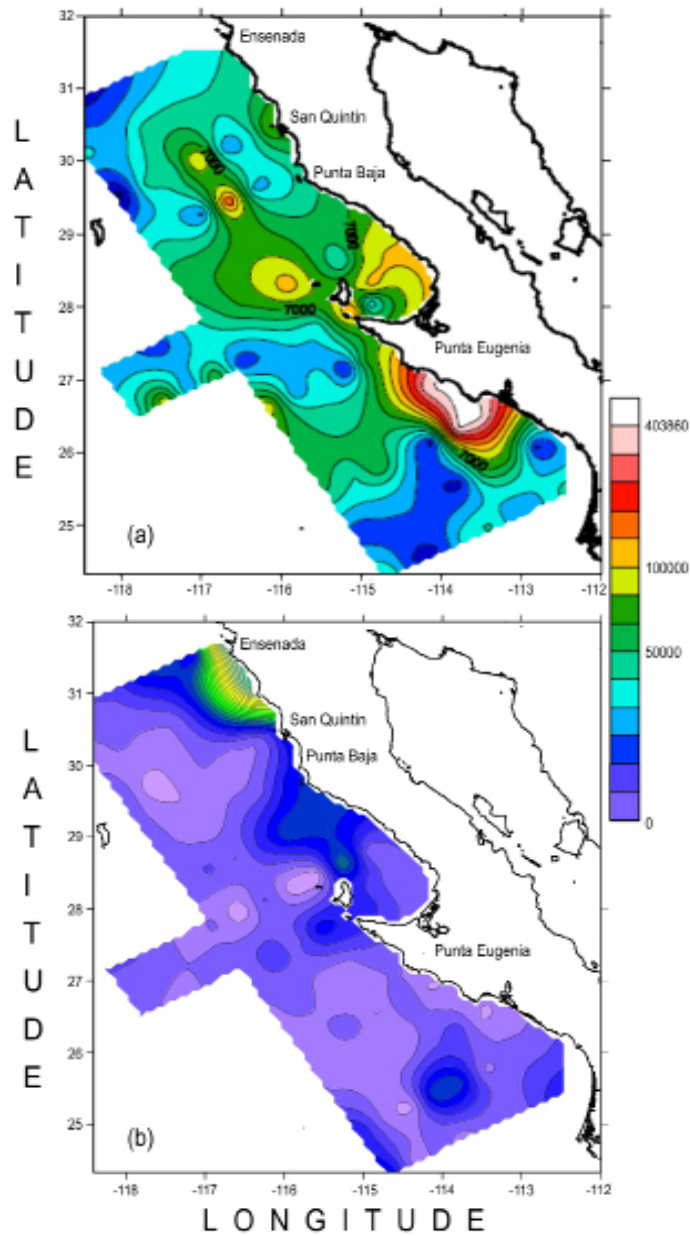


Figure 6. Two events comparison of nano-microphytoplankton (cells L⁻¹) at 10 metre depth during: (a) La Niña 2001, and (b) El Niño 2004. IME COCAL cruises. The data set July/2001 was taken from Sánchez-Pérez (2005).

Figura 6. Comparación entre dos eventos de nano-microfitoplancton (células L⁻¹) a 10 metros de profundidad durante: (a) La Niña 2001, y (b) El Niño 2004. Cruceros IME COCAL. Los datos de Julio/2001 fueron tomados de Sánchez-Pérez (2005).

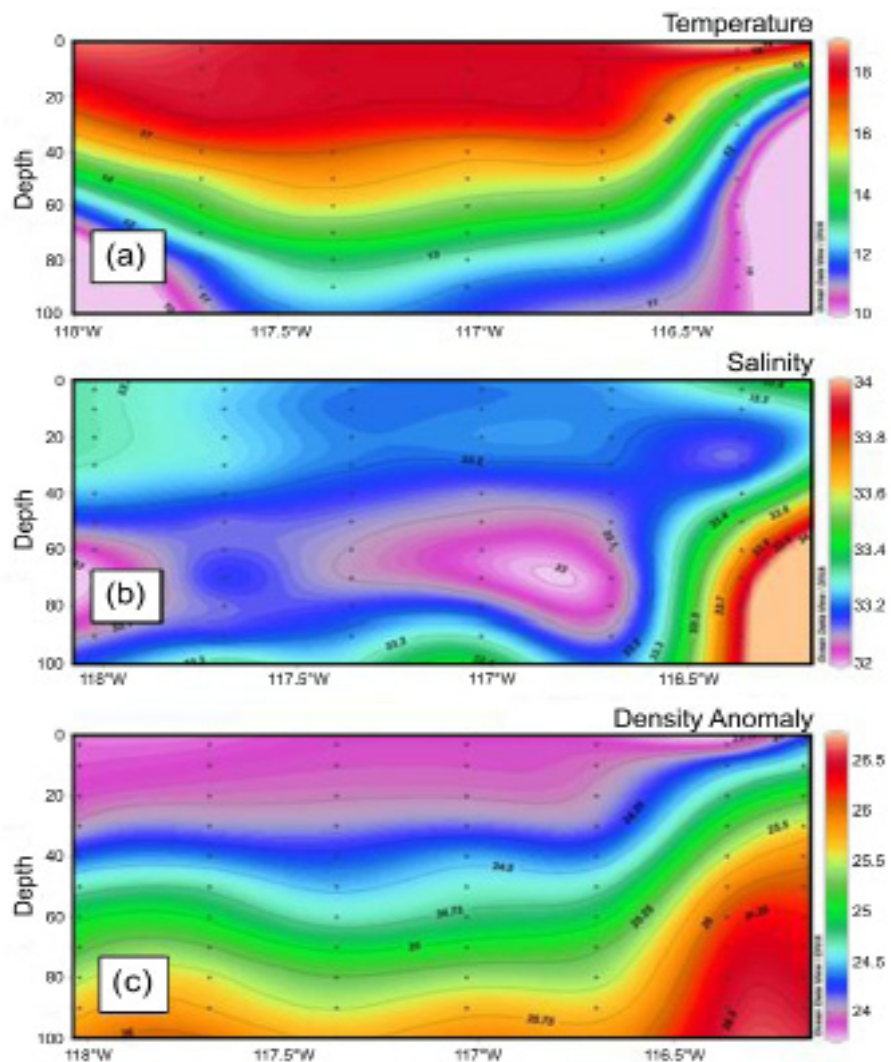


Figure 7. Vertical sections: (a) temperature (b) salinity and (c) density along the transect 107. IMECOCAL cruise during July 2004.

Figura 7. Sección vertical de: (a) temperatura (b) salinidad y (c) densidad a lo largo del transecto 107. Crucero IMECOCAL durante Julio 2004.

phytoplankton community; this information agrees with data from other oceanic areas that authors as Stramski and Morel (1990), Millán-Núñez and Millán-Núñez (2010) have reported; contrary to the stations near the coast, where B/R values lower than 3.5 have been detected; these values suggest an increase in the nano-microphytoplankton and chlorophyll-a group, mainly in

que autores como Stramski y Morel (1990), Millán-Núñez y Millán-Núñez (2010) han reportado; contrario a las estaciones cercanas a la costa donde se han detectado valores de B/R menores de 3.5, estos valores sugieren un incremento del grupo nano-microfitoplancton y clorofila-a, principalmente en las estaciones costeras, tal y como lo reportaron Wu *et al.*, (2007) y Millán-Núñez y Millán-Núñez (2010).

coastal stations, as reported by Wu *et al.*, (2007) and Millán-Núñez (2010).

Conclusions

With the results observed in this paper, we can reaffirm that El Niño event July 2004 was considered a weak event, possibly due to the water intrusion from the Subarctic off Baja California, which provoked a cold water front with HNLC characteristics in the system, consequently, a decrease in the dynamic of the pelagic ecosystem.

In general, the phytoplankton community presented a decrease in abundance and diversity in the genera in relation to the event La Niña in July 2001, observing a dominance of dinoflagellates and a decrease of 35 % in diatoms genera in relation to 2001. Our results confirm that the pelagic system of phytoplankton was susceptible to anomalous oceanographic changes.

Conclusiones

Con los resultados observados en este trabajo, podemos reafirmar que el evento El Niño Julio/2004 fue considerado como un evento débil, posiblemente esto se debió a la intrusión del agua del Subártico frente Baja California lo que provocó un frente de agua fría con características HNLC en el sistema, y por consecuencia un decaimiento en la dinámica del ecosistema pelágico.

En general, la comunidad del fitoplancton presentó una disminución en abundancia y diversidad de los géneros en relación al evento La Niña de Julio/2001, observándose una dominancia de los dinoflagelados y una disminución del 35 % en géneros de diatomeas en relación al 2001. Nuestros resultados confirman que el sistema pelágico del fitoplancton fue susceptible a los cambios anómalos oceanográficos.

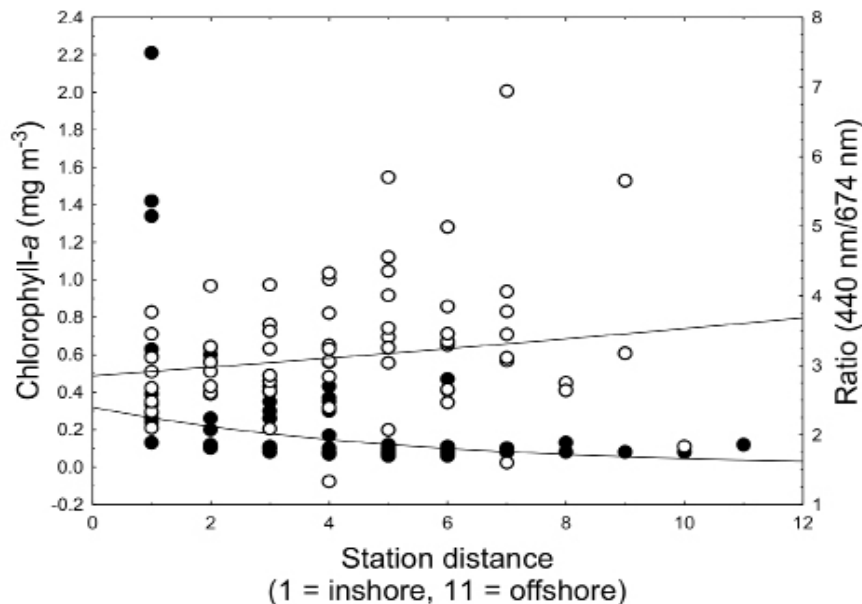


Figure 8. The absorption coefficient phytoplankton ratio (b/r) at two wavelength (440 nm/674 nm) (clear cyrcles), and chlorophyll-a concentration (dark cyrcles). The stations are numbered as # 1 and is the nearshore station, the # 7 is the offshore station.

Figura 8. La razón del coeficiente de absorción por fitoplancton (b/r) a dos longitudes de onda (440 nm/674 nm) (círculo claro), y clorofila-a (círculo negro). Las estaciones cercanas a la costa se numeran como # 1, y las oceánicas como # 7.

Acknowledgements

To the tripulation and commander from the B/O Francisco de Ulloa for his experience and excellent work in high sea. To the technical researchers and students in the sampling collection: J. Cepeda-Morales, J. Gómez-Valdéz, J.F. Moreno-Higareda, J.L. Cadena-Ramirez, R. Camacho-Torres, A. Low-Pfeng, J.L. González-Bucio, J.P. Cantú-Ontiveros, E. Iris-Maldonado, G. Caloca-Michel, R. Rosas-Luis. Special thanks to F.J. Ponce and J.M. Domínguez for their assistance in the drawings here presented. The oceanographic cruise was financed by CONACyT through project # 129140. Manuscript data belong to the bachelor thesis (2014) of the first author.

Agradecimientos

A la tripulación y comandante del B/O Francisco de Ulloa por su experiencia y excelente trabajo en maniobras de altamar. A los investigadores-técnicos y estudiantes en la colecta de muestras: J. Cepeda-Morales, J. Gómez-Valdéz, J.F. Moreno-Higareda, J.L. Cadena-Ramirez, R. Camacho-Torres, A. Low-Pfeng, J.L. González-Bucio, J.P. Cantú-Ontiveros, E. Iris-Maldonado, G. Caloca-Michel, R. Rosas-Luis. Un especial agradecimiento a F.J. Ponce y J.M. Domínguez por la asistencia en los dibujos aquí presentados. El crucero oceanográfico fue financiado por CONACyT a través del proyecto # 129140. Los datos del manuscrito forma parte de la tesis de licenciatura (2014) del primer autor.

References

- Bernal, A.P. 1979. Introducción al fitoplancton marino. *Ficología*, 18 (3): 303-304.
- Baumgartner, T., Durazo, R., Lavaniegos, B., Gaxiola, G., Gómez, J. and García, J. 2008. Ten years of change from IMECO-CAL observations in the southern region of the California Current Ecosystem. *Globec International Newsletter* 14(2): 43-54.
- Bjorkstedt, E.P., Goericke, R., McClatchie, S., Weber, E., Watson, W. and Lo, N. *et al.* 2010. State of the California Current 2009-2010: Regional variation persists through transition from La Niña to El Niño (and Back?). *CalCOFI Rep.* 51: 1-31.
- Chelton, D., Bernal, P. and McGowan J.A. 1982. Large scale interannual physical and biological interactions in the California Current, *The Journal of Marine Research* 40: 1095-1125. <http://scrippsolars.ucsd.edu/jmcgowan/content/large-scale-interannual-physical-and-biological-interaction-california-current>
- Cupp, E.E. 1943. Marine Plankton Diatoms of the West Coast of North America. *Bulletin of the Scripps of Oceanogr. University of California*, 5(1): 1-237 pp. <http://escholarship.org/uc/item/922945w8>
- Durazo, R. and Baumgartner, T.R. 2002. Evolution of oceanographic conditions off Baja California: 1997-1999. *Progress in Oceanography* 54: 7-31. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079661102000411>
- Espinosa-Carreón, T.L., Gaxiola-Castro, G., Beier, E., Strub, P.T. and Kurczyn A. 2012. Effects of mesoscale processes on phytoplankton chlorophyll off Baja California. *Journal of Geophysical Research* 117, C04005. doi:10.1029/2011JC007604. 12 p. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2011JC007604/full>
- Espinosa-Carreón, T.L., Gaxiola-Castro, G., Durazo-Arvizu, R., De la Cruz, M.E., Norzagaray-Campos, M. and Solana-Arellano E. 2015. Influence of anomalous subarctic water intrusion of phytoplankton production off Baja California. *Continental Shelf Res* 92: 108-121. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278434314003148>
- Goericke, R., Venrick, E., Koslow, T., Sydeman, W.J., Schwing, F.B. and Bograd, S.J. 2007. Regional and local processes dominate. *CalCOFI Rep* 48: 33-66.
- Hasle, G.R. and Syvertsen E.E. 1997. Marine diatoms. In: Tomas C.R (ed), *Identifying Marine Phytoplankton*, academic Press, San Diego: 5-385 pp.
- Hasle, G.R. 1978. The inverted microscope method. *Phytoplankton Manual*. A. Sournia, ed. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Paris. 5 (2.1): 337 pp.
- Hickey, B.M. 1979. The California Current System—hypotheses and facts. *Progress in Oceanography* 8: 191-279. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0079661179900028>
- Jerónimo, G. and Gómez-Valdéz, J. 2006. Mean temperatura and salinity along and isopycnal surface in the upper ocean off Baja California. *Ciencias Marinas* 32(4): 663-671. <http://rcmarinas.ens.uabc.mx/index.php/cmarinas/article/>

- [viewArticle/1164](#)
- Kishino, M., Takahashi, M., Okami, N. and Ichimura, S. 1985. Estimation of the spectral absorption coefficients of phytoplankton in the sea. *Bulletin of Mar. Science* 37: 634-642. <http://www.ingentaconnect.com/content/umrsmas/bullmar/1985/00000037/00000002/art00025>
- Legaard, K.R. and Thomas A.C. 2006. Spatial patterns in seasonal and interannual variability of chlorophyll and sea surface temperature in the California Current. *Journal of Geophysical Research* 111: C06032. http://digitalcommons.library.umaine.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1123&context=sms_facpub
- Levins, R. 1978. *Evolution in changing environments*. Princ. Princeton University Press, 65 pp.
- Mantyla, A.W., Bograd, S.J. and Venrick E.L. 2008. Patterns and controls of chlorophyll-a and primary production cycles in the Southern California Bight. *Journal of Marine Systems* 73: 48-60. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924796307001650>
- Millán-Núñez, E., Sieracki, M.E., Millán-Núñez, R., Lara-Lara, J.R., Gaxiola-Castro, G. and Trees, C. 2004. Specific absorption coefficient and phytoplankton biomass in the southern region of the California Current. *Deep Sea Research Part II* 51: 817-826. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967064504000700>
- Millán-Núñez, E. and Millán-Núñez, R. 2010. Specific Absorption Coefficient and Phytoplankton Community Structure in the Southern Region of the California Current during January 2002. *Journal of Oceanography* Vol. 66: 719-730. <http://link.springer.com/article/10.1007/s10872-010-0059-z#page-1>
- Moreno, J.L., Licea, S. and Santoyo H. 1997. Diatomeas del Golfo de California. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 272 pp.
- Parés-Sierra, A., López, M. and Pavia E.G. 1997. Oceanografía física del océano Pacífico Nororiental. En: Lavín MF (ed.), *Contribuciones a la Oceanografía Física en México. Unión Geofísica Mexicana* 1-24.
- Rykaczewski, R.R. and Checkley D.M. 2008. Influence of ocean winds on the pelagic ecosystem in upwelling regions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105: 1965-1970. <http://www.pnas.org/content/105/6/1965.short>
- Sánchez-Pérez, E.D. 2005. Áreas biogeográficas a partir de curvas espectrales de absorción de luz por fitoplancton en aguas costeras de Baja California durante julio de 2001. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias Marinas, 53 pp.
- Stramski, D., and Morel, A. 1990. Optical properties of photosynthetic picoplankton in different physiological states as affected by growth irradiance. *Deep Sea Research* 37: 245-266. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/019801499090126G>
- Sverdrup, H.V., Johnson M.W. and Fleming R.H. 1942. *The Oceans: Their Physics, Chemistry and General Biology*. Prentice-Hall, Inc. New York. 1087 pp.
- Thomas, A.C., Brickley, P. and Weatherbee R. 2009. Interannual variability in chlorophyll concentrations in the Humboldt and California Current Systems. *Progress in Oceanography* 83: 386-392. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079661109000755>
- Thronsen, J. 1978. Preservation and storage. In Sournia A. (Ed). *Phytoplankton Manual*. UNESCO. Paris. 69-74 pp.
- Tomas, C.S. 1997. *Identifying marine phytoplankton*. Academic Press, Inc.
- Utermöhl, H. 1958. Vervollkommung der quantitativen phytoplankton methodik. *Mitt. Int. Verein Theor. Angew. Limnology* 9: 1-38.
- Venrick E.L. 2000. Summer in the Ensenada Front: The distribution of phytoplankton species, July 1985 and September 1988. *Journal of Plankton Research* 22: 813-841. <https://plankt.oxfordjournals.org/content/22/5/813.full>
- Wooster, W.S. and Reid Jr. J.L. 1963. Eastern Boundary currents. In *The Sea*, (ed) M.N.Hill. 2: 253-280 pp.
- Wu, J., Honh, H., Shang, S., Dai, M., and Lee, Z. 2007. Variation of phytoplankton absorption coefficients in the northern south China Sea during spring and Autumn. *Biogeosciences* 4: 1555-1584. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00297894/>

Cite this paper/Como citar este artículo: Miranda-Álvarez, A.C. and Millán-Núñez, E. (2016). Phytoplankton oceanographic characterization during El Niño 2004 event in the northwest region of Baja California, Mexico. *Revista Bio Ciencias* 4(2): 61-81. <http://editorial.uan.edu.mx/BIOCIENCIAS/article/view/183/252>

