



Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana  
ISSN: 1405-3322  
[sgm\\_editorial@geociencias.unam.mx](mailto:sgm_editorial@geociencias.unam.mx)  
Sociedad Geológica Mexicana, A.C.  
México

Estradas-Romero, Alejandro; Prol-Ledesma, Rosa María; Zamudio-Resendiz, Ma. Eugenia  
Relación de las características geoquímicas de fluidos hidrotermales con la abundancia y riqueza de  
especies del fitoplancton de Bahía Concepción, Baja California Sur, México  
Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, vol. 61, núm. 1, 2009, pp. 87-96  
Sociedad Geológica Mexicana, A.C.  
Distrito Federal, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94313272009>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org



## Relación de las características geoquímicas de fluidos hidrotermales con la abundancia y riqueza de especies del fitoplancton de Bahía Concepción, Baja California Sur, México

Alejandro Estradas-Romero<sup>1,\*</sup>, Rosa María Prol-Ledesma<sup>1</sup>, Ma. Eugenia Zamudio-Resendiz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Delegación Coyoacán, México D. F., 04510, México

<sup>2</sup> Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Delegación Coyoacán, México D. F., 04510, México

\* a\_estradas@hotmail.com

### Resumen

El estudio de la descarga de fluidos hidrotermales en Ensenada Mapachitos en Bahía Concepción (BCS) en el mes de octubre del 2006 incluyó la adquisición y revisión de datos geoquímicos, así como la determinación de la riqueza y abundancia del fitoplancton. Las altas concentraciones de nutrientes se vieron reflejadas en la abundancia del fitoplancton y la zona estudiada presentó, en la escala de nutrientes, un estado eutrófico. En el área de la ventila se registró una concentración de nitratos de  $1.61 \mu\text{M}$  que fue mayor que la registrada para el área de control ( $0.02$  a  $0.07 \mu\text{M}$ ). La concentración del amonio en el área de las ventillas ( $88.09$ - $648.95 \mu\text{M}$ ) y el área de control ( $17.03$ - $508 \mu\text{M}$ ) también fue más alta con respecto al agua de mar, al igual que los sulfatos ( $29.9$  a  $35.79 \text{ mM}$ ) y el hierro ( $0.18$ - $0.72 \mu\text{M}$ ). La concentración de los fosfatos se encontró dentro del intervalo observado para aguas oceánicas.

El grupo dominante en los tres puntos de muestreo fue el de las diatomeas, registrándose un florecimiento de *Chaetoceros curvisetus*. El análisis florístico para el fluido hidrotermal se caracterizó por la abundancia de Cyanofitas cuyas especies más abundantes fueron *Nostoc pruniforme* y *Trichodesmium erythraeum*. El análisis estadístico de los datos de abundancia permite inferir que hay una diferencia significativa entre las tres muestras y que se trata de comunidades diferentes. Las diferencias encontradas en los sitios de muestreo respecto a la densidad de organismos fitoplanctónicos, la concentración de clorofila-a y la comunidad, pueden ser atribuidas a la influencia de las descargas hidrotermales.

Palabras clave: Ventilas hidrotermales someras, diatomeas, Cyanofitas, nutrientes.

### Abstract

The study of hydrothermal fluid discharge at Ensenada Mapachitos in Bahía Concepción (BCS) in October 2006 included the acquisition and review of geochemical data, and the determination of the phytoplankton abundance and richness. High nutrient concentration produced high phytoplankton abundance and the studied area was in a eutrophic state with respect to nutrient contents. In the vent area nitrate concentration ( $1.61 \mu\text{M}$ ) was higher than in the control area ( $0.02$  to  $0.07 \mu\text{M}$ ). The ammonium concentration in the vent area ( $88.09$ - $648.95 \mu\text{M}$ ) and control area ( $17.03$ - $508 \mu\text{M}$ ) were higher than those for seawater as well as sulphates ( $29.9$  to  $35.79 \text{ mM}$ ) and iron ( $0.18$ - $0.72 \mu\text{M}$ ). Phosphate concentration was within the range observed for ocean water.

The dominant group in the three samples was diatoms, with a bloom of *Chaetoceros curvisetus*. The taxonomic analysis for hydrothermal fluid was characterized by an abundance of Cyanophyte; the most abundant species were *Nostoc pruniforme* and *Trichodesmium erythraeum*. Statistical analysis of the phytoplankton data indicates that there is a significant difference among the three samples, implying the presence of different communities. The observed differences in organism density, chlorophyll-a concentration and number of species observed can be related to the manifestations of hydrothermal discharge.

Keywords: Shallow hydrothermal vents, diatoms, Cyanophyte, nutrients.

## 1. Introducción

Las ventanas hidrotermales someras son aquellas que se encuentran a menos de 200 m de profundidad (Tarasov *et al.*, 2005). Estos autores observaron que el cambio brusco de la fauna obligada a un tipo de sistema hidrotermal se da a los 200 m de profundidad. Esta profundidad, en general, coincide con el cambio brusco de la pendiente de la curva de ebullición del agua de mar, registrada a una presión de 20 bares (Bischoff y Rosenbauer, 1984), con el límite entre la plataforma y talud continental, y con las diferencias en la estructura y composición de las comunidades de organismos (Tarasov *et al.*, 2005).

Los sistemas de ventanas hidrotermales someros presentan una amplia distribución (Tarasov *et al.*, 1985, 1990, 1991; Sarano *et al.*, 1989; Kamenev *et al.*, 1993) como los localizados en la Bahía de Plenty, Nueva Zelanda (Stoffers *et al.*, 1999), el sistema hidrotermal Ambitile y Lihir, en Papúa, Nueva Guinea (Pichler *et al.*, 1999), en la Ensenada de Karaternaya, Rusia (Zhirmunsky y Tarasov, 1990), en la Isla de Milos, Mar Egeo (Dando *et al.*, 1999), en las islas Eólicas, Italia (Gugliandolo *et al.*, 2006), Punta Banda al oeste de la Península de Baja California cerca de la ciudad de Ensenada, México (Vidal *et al.*, 1978), en la parte central de la costa Pacífica de México y en la parte oeste del Golfo de California en Bahía Concepción, México (Prol-Ledesma, 2003).

La descarga de las ventanas hidrotermales aparentemente tiene un efecto considerable en las comunidades biológicas adyacentes, ya que las comunidades bentónica y planctónica encontradas alrededor de estas ventanas frecuentemente muestran adaptaciones a este tipo de hábitats (Tarasov, 1991; Tarasov *et al.*, 1999). Los fluidos de descarga están enriquecidos con respecto al agua de mar en nutrientes, metales pesados y traza (Michard, 1989; Dando *et al.*, 1999). La fase gaseosa generalmente está compuesta por bióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno (>90% por volumen) con cantidades menores de hidrógeno, metano, nitrógeno, helio, oxígeno y argón (Arnórsson *et al.*, 2006).

Los efectos geoquímicos de la actividad hidrotermal de las ventanas someras en las comunidades bentónicas y planctónicas son poco conocidas comparadas con las que se han observado alrededor de las ventanas hidrotermales de mar profundo (Robinson, 2000). El fitoplancton, además de jugar un papel importante como productor primario, se le puede considerar como indicador de la calidad del agua, toda vez que al presentar tasas muy rápidas de reproducción, responden rápidamente también a cambios fisicoquímicos del agua, modificando su crecimiento y llegando incluso a producir florecimientos. A pesar de ello, sólo se han realizado algunos trabajos sobre el fitoplancton en ventanas hidrotermales (Robinson, 2000; Sorokin *et al.*, 1994, 1998, 2003).

Los procesos geoquímicos en las ventanas hidrotermales someras de Bahía Concepción se encuentran bien estudiados en general (Forrest y Melwani, 2003; Forrest, 2004; Prol-

Ledesma *et al.*, 2004; Forrest *et al.*, 2005; Canet *et al.*, 2005a, 2005b; Villanueva *et al.*, 2005; Canet y Prol-Ledesma, 2007); sin embargo, en la parte biológica no se cuenta con datos suficientes que permitan establecer la relación biología-geoquímica que tiene lugar en estos sistemas. Se ha visto que las descargas de las ventanas parecen tener efecto a pequeña escala en la biota circundante, por lo que el objetivo de este trabajo fue aportar evidencias acerca de la relación de las características geoquímicas de los fluidos hidrotermales con la abundancia y riqueza de las especies del fitoplancton en la zona de actividad hidrotermal submarina que se ha reportado en Ensenada Mapachitos (Bahía Concepción, B. C. S.).

## 2. Área de estudio

El área de estudio es una zona de aproximadamente 2,500 m<sup>2</sup> en la Ensenada Mapachitos donde se han descubierto manifestaciones hidrotermales submarinas (Prol-Ledesma *et al.*, 2004). La Ensenada Mapachitos se encuentra ubicada dentro de la Bahía Concepción, que es una cuenca de origen tectónico que está localizada en Baja California Sur, al noroeste del territorio mexicano. La bahía está delimitada por las coordenadas: 26° 33' y 26° 53' N y 111° 42' y 111° 56' W y tiene una extensión de aproximadamente 40 km de longitud, su parte más ancha tiene 10 km de longitud y cubre un área de 275 km<sup>2</sup> (Obeso *et al.*, 1996). Regionalmente, se observan varios sistemas de fallas que afectan a las rocas presentes en el área (Ledesma-Vázquez y Johnson, 2001) donde se alberga un sistema hidrotermal con diversas manifestaciones submarinas, intermareales y subaéreas (Figura 1).

Las manifestaciones hidrotermales están a una profundidad de 5 a 15 m (Prol-Ledesma *et al.*, 2004) y se encuentran distribuidas a lo largo de una línea con dirección NW-SE que coincide con la dirección de la falla El Requesón (McFall, 1968). Las ventanas forman dos grupos con una separación de 20 m y presentan emanaciones difusas de gas y agua hidrotermal a través de sedimentos marinos no consolidados siguiendo las fracturas que afloran en el fondo marino (Prol-Ledesma *et al.*, 2004; Canet *et al.*, 2005b). La temperatura de la descarga de agua es de 45 °C y el pH es de ~6.2. Al interior de las capas de sedimentos del fondo marino la temperatura aumenta hasta 87 °C a una profundidad de 15 cm.

## 3. Metodología

Para este estudio se realizó un muestreo en el mes de octubre del 2006 en las ventanas hidrotermales submarinas situadas la Ensenada Mapachitos, Bahía Concepción, Baja California Sur, en los alrededores de la playa denominada "El Burro" donde se ubicaron dos puntos de muestreo, uno dentro de la zona de manifestaciones hidrotermales a 26° 38'

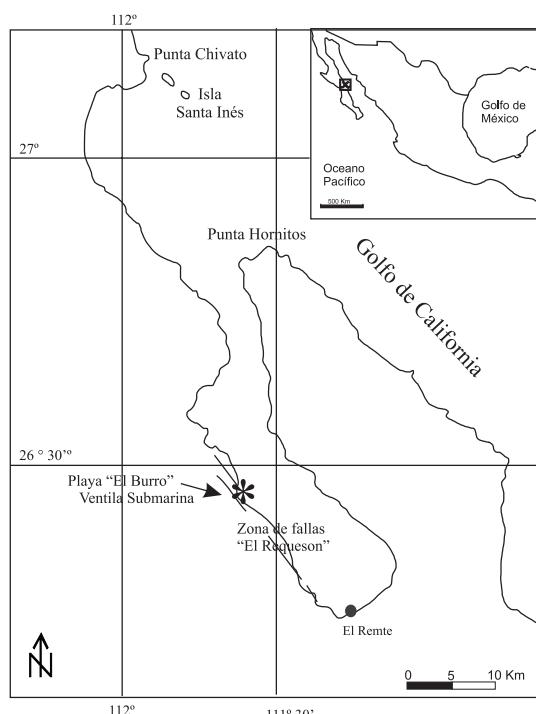


Figura 1. Localización del área de estudio en la Ensenada de Mapachitos (Bahía Concepción, B. C. S.). El asterisco ubica la playa El burro, donde se encuentran las manifestaciones hidrotermales submarinas estudiadas (Modificado de Prol-Ledesma *et al.*, 2004).

34.66" N y a 111° 50' 21.76" W y otro en un sitio cercano fuera de la influencia de éstos a 26° 38' 36.24" N y 111° 50' 36.51" W, el cual se tomó como punto de control, además, se tomó una muestra del fluido hidrotermal. En ambas zonas de muestreo la profundidad máxima fue de aproximadamente seis metros. Las muestras de agua en las zonas de las ventanas se tomaron en superficie, y a profundidades de 1.50 m, 3.50 m y 5.4 m (fondo). El muestreo en el área de control se realizó en superficie, a 3 m y 6 m (fondo). De cada una de estas profundidades se tomaron 10 litros de agua mediante buceo autónomo. La profundidad se determinó con una cuerda marcada y con el profundímetro del equipo de buceo.

La determinación de algunos parámetros fisicoquímicos y elementos químicos se realizó *in situ*, colocando las muestras de agua en frascos de plástico (Nalgene) de 125 ml. La temperatura, pH y salinidad se determinaron con un multiparámetro portátil sensION156 marca HACH, al igual que el hierro ( $\text{Fe}^{2+}$ ), nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) y sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Los nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) se determinaron mediante HPLC (Skoog *et al.*, 2001).

Para realizar un análisis cuantitativo del fitoplancton presente en el área de control y el área de la ventana se recolectó un litro de agua para cada una de las profundidades señaladas anteriormente; además, se tomó una muestra del agua descargada por la ventana para los mismos propósitos. Estas muestras fueron fijadas con 10 ml de Lugol a

saturación con acetato de sodio (Lovegrove, 1960). El análisis de células se realizó mediante la técnica propuesta por Utermöhl (1958), dejando sedimentar un litro de agua, utilizando un microscopio invertido Zeiss modelo ICM 405 y mediante el barrido de transectos diametrales a 400 aumentos. Se contaron las primeras 400 células por muestra siguiendo las recomendaciones de Ludwing y Reynolds (1988). Los especímenes se determinaron al menor nivel taxonómico posible (incluyendo variedades y forma). La determinación de los organismos se realizó con base en las descripciones existentes en la literatura especializada (Cupp, 1943; Taylor, 1976; Balech, 1988; Round *et al.*, 1990; Moreno *et al.*, 1996; Throndsen, 1997; Hasle y Syversten, 1997; Bérard-Theriault *et al.*, 1999; Wehr y Sheath, 2003; Cronberg y Annadotter, 2006).

Para la toma de muestras de clorofila-a se filtraron, para cada nivel, 1 litro de agua de mar usando un tamiz de 200  $\mu\text{m}$  de abertura de malla, con el fin de remover a los organismos del zooplancton. Para medir la concentración de clorofila-a se filtró el litro de agua de mar a través de un filtro Millipore de nitrocelulosa de 0.45  $\mu\text{m}$  de luz de malla y 47 mm de diámetro. La extracción del pigmento se realizó con acetona al 90 % según el método de Yentsch y Menzel (1963), cuya concentración se determinó mediante un espectrofotómetro modelo Perkin-Elmer Lambda 3a UV/VIS. El contenido de clorofila-a en las muestras, fue calculado con las fórmulas propuestas por Strickland y Parsons (1972).

Se calculó el índice de diversidad ( $H'$ ) propuesto por Shannon-Wiener (Pielou, 1974), y con el fin de establecer la igualdad o la diferencia en la diversidad entre las dos zonas muestreadas y el fluido hidrotermal se calculó la varianza. La *t-student* modificada se obtuvo utilizando el método de Magurran (1989), con el objeto de comprobar la existencia de diferencias significativas estadísticamente entre las dos áreas estudiadas y el fluido hidrotermal. Se realizó un análisis de componentes principales para determinar la relación entre la densidad de organismos y los factores fisicoquímicos (Aluja-Banet, 1999).

## 4. Resultados

### 4.1. Nutrientes

La Tabla 1 muestra los resultados fisicoquímicos registrados en el área de estudio. La salinidad fue constante con un valor de 34.2. En las muestras provenientes del área de la ventana, el valor del pH varió de 8.4 en superficie a 6.6 en el fondo y en el área de control de 8.4 a 8.1. La temperatura superficial en ambas áreas fue de 27.5 °C. Tanto los valores de nitritos para las muestras de columna de agua en el área de la ventana como los valores de nitratos para el área de control se encontraron por debajo del límite de detección.

Los valores de los nitritos en el área de control presentaron un valor máximo de 0.07  $\mu\text{M}$  en el fondo y

Tabla 1. Resultado de los parámetros físicos y químicos así como la clorofila-*a* obtenidos del muestreo en el área de estudio en Ensenada Mapachitos (Bahía Concepción, B. C. S.).

	Prof. (m)	Temp. (°C)	pH	Sal. (%)	$\text{NO}_2^-$ ( $\mu\text{M}$ )	$\text{NO}_3^-$ ( $\mu\text{M}$ )	$\text{NH}_4^+$ ( $\mu\text{M}$ )	$\text{PO}_4^{3-}$ ( $\mu\text{M}$ )	$\text{SO}_4^{2-}$ (mM)	Fe ( $\mu\text{M}$ )	Chl- <i>a</i> ( $\text{mg/m}^3$ )
Área Manantial	0	27	8.4	34.2	<LD	1.61	17.03	0.11	39.05	0	-
	1.5	-	7.8	34.2	<LD	1.61	19.38	0.53	32.55	0.18	1.55
	3.5	-	7.4	34.2	<LD	1.61	508	0.21	32.55	0.36	3.1
	5.4	-	6.6	34.2	<LD	<LD	81.63	0	35.79	0.18	0.89
Área Control	0	27	8.4	34.2	0.02	<LD	88.09	0.11	32.55	0	0.9
	3	-	8.4	34.2	0.02	<LD	648.95	0.11	29.29	0.18	0.15
	6	-	8.1	34.2	0.07	<LD	613.71	1.16	35.79	0.72	1.89

<LD = Menor al límite de detección

un valor mínimo en la superficie. La concentración de nitratos en el área de la ventila se mantuvo constante a lo largo de la columna de agua ( $1.61 \mu\text{M}$ ). El amonio presentó concentraciones elevadas en el área de control, con un máximo de  $648.95 \mu\text{M}$  a 3 m de profundidad y un mínimo de  $88.09 \mu\text{M}$  en superficie. En la ventila, las concentraciones de amonio fueron menores, con un máximo de  $508 \mu\text{M}$  a 3.5 m de profundidad y un mínimo de  $17.03 \mu\text{M}$  en superficie. En el área de control, los fosfatos presentaron un máximo de  $1.16 \mu\text{M}$  en el fondo, mientras que en el resto de la columna de agua se registró una concentración constante de  $0.11 \mu\text{M}$ , y en el área del ventila el máximo se presentó a 1.5 m de profundidad con  $0.53 \mu\text{M}$ . Los sulfatos presentaron poca variación a lo largo de la columna de agua en ambas estaciones de estudio, en el área de control el intervalo fue de  $29.29$  a  $35.79 \text{ mM}$  y en el área del ventila fue de  $32.55$  a  $39.05 \text{ mM}$ . Los valores para el hierro en el área del ventila fueron de un mínimo de cero en la superficie y un máximo de  $0.36 \mu\text{M}$  a 3.5 m de profundidad y para el área de control el valor máximo se registró en el fondo con  $0.72 \mu\text{M}$  y un mínimo de cero en superficie (Tabla 1).

#### 4.2. Fitoplancton

Los resultados obtenidos para el análisis cualitativo del fitoplancton, así como sus densidades, los porcentajes para cada grupo e índice de diversidad, se muestran en la Tabla 2. El ciliado autótrofo obligado *Myrionecta rubra* (Lohmann, 1908) Jankowski, 1976, fue considerado en el conteo de fitoplancton, ya que contiene cloroplastos de criptofitas endosimbióticas (Gustafson et al., 2000); y por lo tanto también fue cuantificado en los análisis de clorofila-*a*. El grupo dominante fue el de las diatomeas, presentándose un florecimiento de *Chaetoceros curvisetus* P. T. Cleve, 1889 (Figura 2). El fluido hidrotermal se caracterizó por presentar una abundancia mayor de fitoflageladas y Cyanofitas, cuyas especies más abundantes fueron *Nostoc pruniforme* (Linneaus) C. Agardh ex Bornet et Flahault, 1886 y *Trichodesmium erythraeum* Ehrenberg ex Gomont, 1893.

La distribución vertical de la abundancia de todos los

grupos analizados para las muestras de columna de agua en ambas áreas se muestran en la Figura 3. Las diatomeas fueron el grupo de mayor abundancia en los dos sitios de muestreo y en el fluido hidrotermal. En el área de las ventilas se registró un máximo en superficie con  $1.6 \times 10^6 \text{ Cél/L}$ . Así mismo, en el área de control se presentó el máximo en el fondo con  $6.8 \times 10^6 \text{ Cél/L}$  (Figura 3a) y  $5.1 \times 10^5 \text{ Cél/L}$  en el fluido hidrotermal. El grupo de los dinoflagelados registraron un máximo a 3.5 m de profundidad para ambas zonas muestreadas con  $2.8 \times 10^3 \text{ Cél/L}$  para el control y  $3.4 \times 10^3 \text{ Cél/L}$  para el área de las ventilas (Figura 3b). El fluido hidrotermal registró  $1.5 \times 10^4 \text{ Cél/L}$ . Las Cyanofitas presentaron una abundancia con un orden de magnitud mayor en el fluido hidrotermal ( $5.1 \times 10^5 \text{ Cél/L}$ ) que en el área del ventila ( $2.9 \times 10^3 \text{ Cél/L}$ ) y el área de control ( $1.0 \times 10^4 \text{ Cél/L}$ ) (Figura 3c). La mayor abundancia de los fitoflagelados se presentó en el área de control con  $4.5 \times 10^4 \text{ Cél/L}$  en el fondo y  $5.8 \times 10^3 \text{ Cél/L}$  en superficie en el área de las ventilas (Figura 3d). Al igual que las Cyanofitas, los fitoflagelados presentaron su mayor abundancia en la muestra del fluido hidrotermal con  $3.1 \times 10^5 \text{ Cél/L}$ . El grupo de los ciliados fue el que presentó los valores de abundancia más bajos, estando totalmente ausente en la muestra del fluido hidrotermal (Figura 3e).

La distribución vertical de clorofila-*a* para el área de la ventila presentó un valor máximo de  $3.10 \text{ mg Chl-}a \text{ m}^{-3}$  a una profundidad de 3.5 m y un mínimo en el fondo de  $0.89 \text{ mg Chl-}a \text{ m}^{-3}$ . En el área de control se registró un valor máximo a una profundidad de 6 m con una concentración de  $1.89 \text{ mg Chl-}a \text{ m}^{-3}$  y un mínimo de  $0.15 \text{ mg Chl-}a \text{ m}^{-3}$  a 3 m de profundidad (Tabla 1).

El índice de diversidad ( $H'$ ) en el área de la ventila fue de 3.67, para la muestra tomada del fluido hidrotermal fue de 3.43, y para el área de control fue de 3.59, con un  $\alpha = 0.05$  y grados de libertad = 81, 143 y 71, respectivamente. El resultado en tablas para  $t = 1.66, 1.64$  y  $1.66$ , respectivamente (Tabla 2).

El análisis de componentes principales, en el que se incluyeron los parámetros físicoquímicos así como la abundancia total por especies y por grupos, permitió

Tabla 2. Resultados de los análisis cualitativos de fitoplancton de la Ensenada de Mapachitos (Bahía Concepción B. C. S). Se presenta la densidad total de todos los grupos por cada muestra, el índice de diversidad ( $H'$ ), así como el número de taxa para cada grupo y su porcentaje.

	Área de control	Área de las ventilas	Fluido de ventila
Bacilariofitas	51 (77.3%)	75 (70.19%)	32 (82%)
Dinofitas	11 (16.6%)	26 (25.0%)	3 (7.6%)
Cianofitas	1 (1.5%)	2 (1.92%)	2 (5.1%)
Fitoflageladas	2 (3.0%)	2 (1.92%)	2 (5.1%)
Ciliado	1 (1.5%)	1 (0.9%)	0
Total Taxa	66	106	39
No. de familias	25	36	25
Total Cél/L	$6.9 \times 10^6$	$5.9 \times 10^6$	$3.9 \times 10^5$
Densidad máxima	$2.4 \times 10^6$	$5.1 \times 10^6$	$3.9 \times 10^5$
Densidad mínima	13	10	786
Ind. de diversidad $H'$	3.59	3.67	3.43

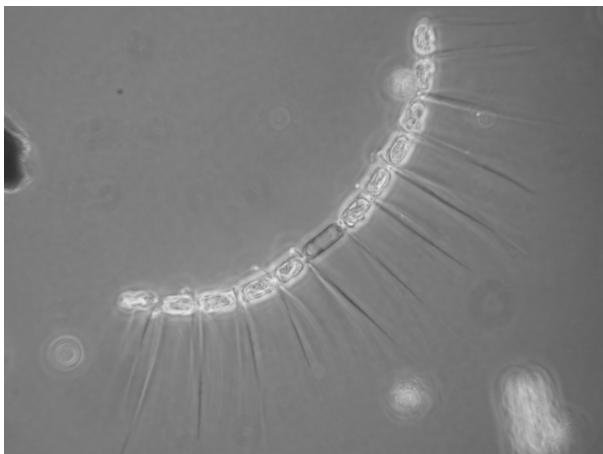


Figura 2. Fotografía de *Caetoceros curvicetus* en microscopio de luz.

reconocer cuatro factores con eigenvalores mayores a 1.9, describiendo el 92.36 % de la varianza total de los datos (Figura 4).

## 5. Discusión

Los valores de salinidad que se registraron (34.2) estuvieron ligeramente por debajo del mínimo para la bahía (34.6), que tiene una media anual de 35.3 (Félix y Sánchez, 1976). Esta ligera diferencia pudo deberse a una dilución por precipitación, ya que el régimen de lluvias para la zona (de julio a octubre) es casi siempre en forma de chubascos (de 50 a 400 mm, total anual) (McFall, 1968; Bustamante-García, 1999).

El pH del agua de mar es ligeramente alcalino ya que varía entre 7.5 y 8.4 (Kennish, 2001). Los valores de

pH registrados por Prol-Ledesma *et al.* (2004) para las manifestaciones hidrotermales que se localizan en Ensenada Mapachitos, La Posada y Santispac, tanto submarinas, como intermareales y costeras, varían de 5.9 a 7.7. El pH registrado en la columna de agua en el área de la ventila varió de 8.4 en superficie a 6.6 en el fondo, debido a la descarga de los fluidos hidrotermales, lo que confirma que el área muestreada se ubicó sobre la ventila. Los valores del pH para el área de control no mostraron alguna diferencia con la del agua de mar, ya que variaron entre 8.1 y 8.4.

El fitoplancton requiere de nutrientes elementales para crecer, principalmente nitrógeno en forma de nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ), nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), fósforo como ión fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) y algunos metales traza como el hierro entre otros (Kennish, 2001). Los valores obtenidos en el área de la ventila para los nitratos fueron de 1.61  $\mu\text{M}$  y para el área de control los nitritos presentaron una concentración de 0.02 a 0.07  $\mu\text{M}$ , mayor y menor con respecto a los registrados por López-Cortés *et al.* (2003) para Bahía Concepción durante el período de 1997 a 1999 (de 0.17 a 0.33  $\mu\text{M}$  promedio). Las concentraciones para los fosfatos registrados en la bahía por López-Cortés *et al.* (2003) durante 1997–1999, fueron de 0.6 a  $\geq 2 \mu\text{M}$ , dentro del intervalo que presentan las aguas oceánicas. Los valores que se han registrado de fosfatos para las ventilas hidrotermales someras van de 0.2 a 12.4  $\mu\text{M}$  (Tarasov *et al.*, 2005). Los valores de los fosfatos registrados en el área de las ventilas de Ensenada Mapachitos (de 0 a 0.53  $\mu\text{M}$ ) son menores que los reportados por López-Cortés *et al.* (2003) para la Bahía; y los medidos para el área de control (de 0.1 a 1.16  $\mu\text{M}$ ) si se encuentran dentro del rango reportado por esos autores. La menor concentración de fosfato en el área de las ventilas se explica por la actividad fitoplancótica ya que se relacionó con la abundancia de organismos en la columna de agua.

La concentración del amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) en las ventilas hidrotermales someras estudiados hasta el momento ha sido mayor que la del agua de mar (de 0 a 3  $\mu\text{M}$ ), ya que se ha registrado un intervalo que va de 1.2 a 1000  $\mu\text{M}$  (Tarasov *et al.*, 2005). Como era de esperarse, los valores de amonio en el área de las ventilas fueron elevados (88.09–648.95  $\mu\text{M}$ ). Sin embargo, en el presente estudio, los valores registrados en el área de control también se encontraron enriquecidos con respecto al agua de mar (17.03–508  $\mu\text{M}$ ); al igual que los sulfatos, donde las concentraciones fueron de 29.9 a 35.79 mM. Este enriquecimiento en la zona de control podría deberse a las condiciones de reflujo de marea en la Bahía (Martínez-López y Gárate-Lizarraga, 1994) que dispersan la descarga de fluidos hidrotermales hacia la zona de control. Las altas concentraciones de hierro en el fondo en el área de control (0.72  $\mu\text{M}$ ) pueden deberse también a las mismas razones.

Iganatiades *et al.* (1992) mencionan que la eutrofificación es un proceso asociado al enriquecimiento de nutrientes y/o la introducción de material orgánico en los cuerpos de agua, además proponen una escala en la que formulan la existencia de tres estados tróficos: el eutrófico, el

Tabla 3. Especies más abundantes registradas en las tres muestras tomadas en el área de estudio (Ensenada Mapachitos, Bahía Concepción, B. C. S.).

Área de control		Área de ventila		Fluido de ventila	
Especie	(Cél/L)	Especie	(Cél/L)	Especie	(Cél/L)
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	$2.6 \times 10^6$	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	$1.0 \times 10^5$	<i>Nostoc pruniforme</i>	$3.9 \times 10^5$
<i>Chaetoceros radicans</i>	$5.8 \times 10^5$	<i>Chaetoceros radicans</i>	$3.4 \times 10^5$	<i>Trichodesmium erythraeum</i>	$1.1 \times 10^5$
<i>Chaetoceros perpusillus</i>	$5.7 \times 10^5$	<i>Chaetoceros laciniosus</i>	$2.6 \times 10^5$	<i>Nitzschia sigmaidea</i>	$9.5 \times 10^4$
<i>Chaetoceros laciniosus</i>	$5.5 \times 10^5$	<i>Chaetoceros brevis</i>	$2.2 \times 10^5$		
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	$4.0 \times 10^5$	<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	$2.2 \times 10^5$		
<i>Chaetoceros brevis</i>	$3.7 \times 10^5$	<i>Chaetoceros perpusillus</i>	$1.9 \times 10^5$		
<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>	$3.1 \times 10^5$	<i>Chaetoceros decipiens</i>	$9.0 \times 10^4$		
<i>Cylindrotheca closterium</i>	$2.3 \times 10^5$				
<i>Chaetoceros wighamii</i>	$2.0 \times 10^5$				
<i>Chaetoceros decipiens</i>	$1.2 \times 10^5$				
<i>Chaetoceros pseudocurvisetus</i>	$1.1 \times 10^5$				

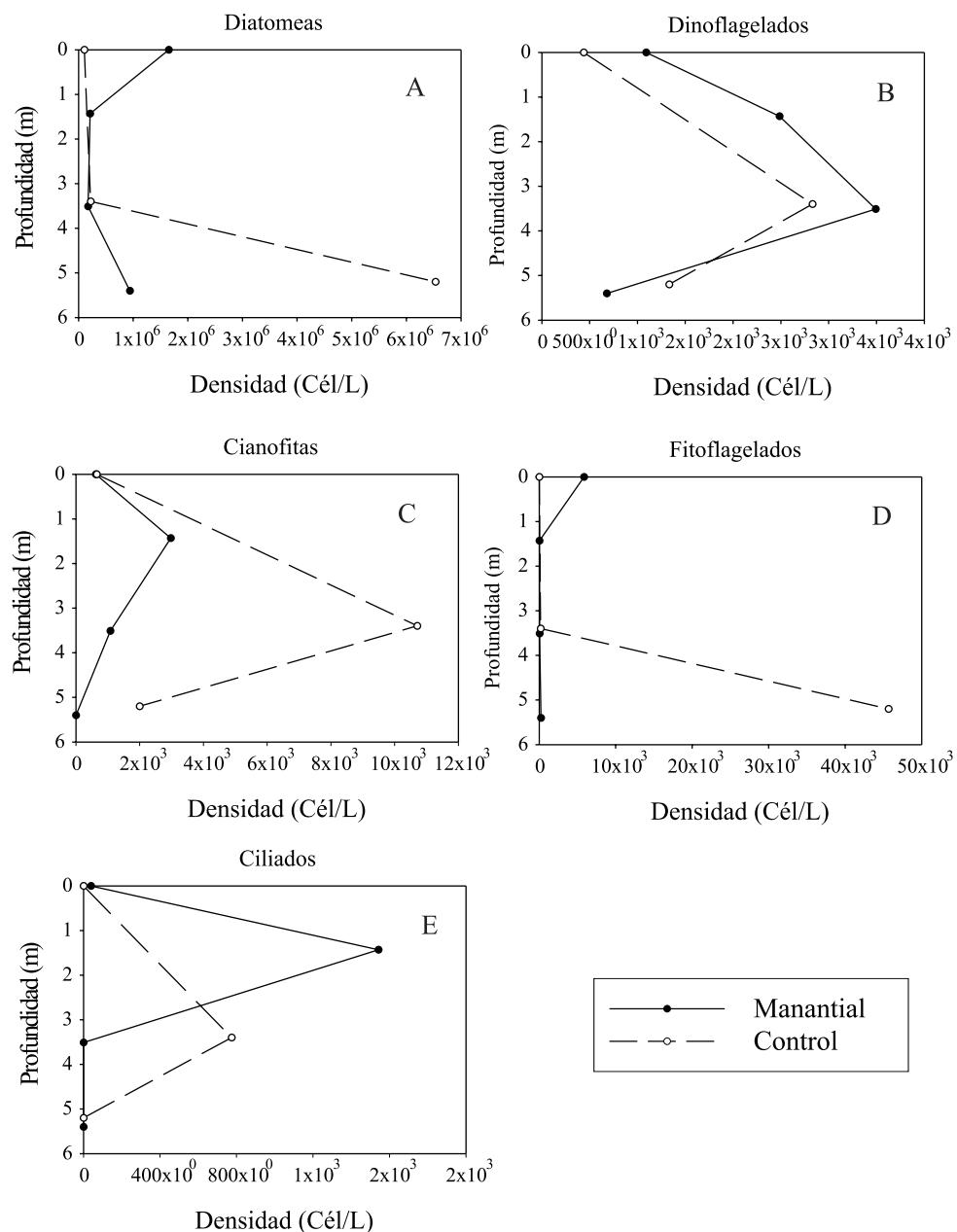


Figura 3. Distribución vertical de la abundancia de organismos del fitoplancton: a) diatomales, b) dinoflagelados, c) cianofitas, d), fitoflageladas y e) ciliados registrados en el área de la Ensenada de Mapachitos (Bahía Concepción, B. C. S.).

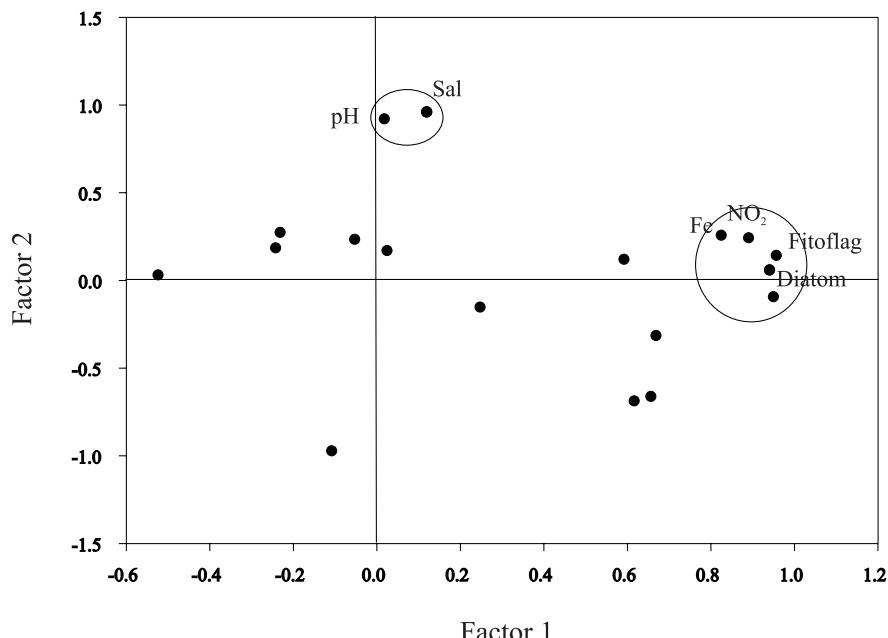


Figura 4. Representación gráfica del análisis de componentes principales para la distribución de los parámetros ambientales y biológicos de las muestras tomadas en la Ensenada de Mapachitos (Bahía Concepción, B. C. S.).

mesotrófico y el oligotrófico. López-Cortés *et al.* (2003) encontraron un estado de eutrofia para los silicatos y fosfatos en Bahía Concepción. Los fluidos hidrotermales someros, por lo general, están enriquecidos con elementos biogénicos como el nitrógeno y el fósforo (Dando *et al.*, 1999). El área estudiada en el presente trabajo presentó un estado de eutrofia, con valores de nitratos, fosfatos, amonio y biomasa por clorofila-a superiores a los propuestos para la eutrofia ( $0.35 \pm 0.22$  de N- $\text{NO}_3$ ,  $0.34 \pm 0.28$  de P- $\text{PO}_4$ ,  $1.5 \pm 0.9$  de N- $\text{NH}_4$  y  $3-5 \text{ mg Chl-a m}^{-3}$ ). Estos valores se refieren al enriquecimiento de nutrientes o materia orgánica y están asociados a la presencia de fitoplancton nocivo (Iganatiades *et al.*, 1992). Esto se confirma por la alta abundancia de fitoplancton en ambas zonas muestreadas dominadas principalmente por las diatomeas y las fitoflageladas (Figuras 3a y 3d), además de la presencia de un florecimiento de la diatomea *Chaetoceros curvisetus* en el fondo del área control, una especie considerada como nociva cuando produce mareas rojas (Zhang *et al.*, 2006). Además, el análisis de componentes principales corroboró la influencia positiva de los nitratos en la abundancia de las diatomeas.

La sílice es el segundo elemento de mayor abundancia en la litosfera. Es un nutriente esencial para el crecimiento de diatomeas y tiene una relación inversa con la densidad de diatomeas y la concentración de la sílice soluble; las diatomeas no se reproducen cuando la concentración de sílice es menor de  $0.008 \text{ mM/kg}$  (Brock, 1967). Tarasov *et al.* (2005) mencionan que en los sistemas hidrotermales someros el grupo de las diatomeas es uno de los que más se

desarrolla, principalmente del género de los *Chaetoceros*, *Melosira* y *Thalassiosira*. En el presente trabajo, del total de las especies del fitoplancton, las diatomeas fue el grupo mejor representado taxonómicamente, siendo los *Chaetoceros* el género más abundante (Tabla 3), lo cual coincide con lo reportado por Martínez-López y Gárate-Lizarraga (1994) para la Bahía.

Canet *et al.* (2005a) mencionan que en Bahía Concepción las concentraciones de sílice en las ventanas submarinas varía de  $2.1$  a  $4.5 \text{ mM}$ . En el área de estudio se detectó una abundancia elevada de diatomeas ( $6.8 \times 10^6 \text{ Cél/L}$ ), que podría ser explicada por la presencia de concentraciones elevadas de sílice que son aportadas continuamente por las emanaciones hidrotermales, la cual es una condición importante para sostener la abundancia de bacilarofitas en estos sistemas. Esto se confirma con el florecimiento de *Chaetoceros curvisetus* detectado en el área de control ( $2.6 \times 10^6 \text{ Cél/L}$ ). Por otro lado, no toda la sílice incorporada por las diatomeas se reintegra a la fase soluble, permitiendo que una porción significativa de frustulas de diatomeas se deposite en el sedimento (Brock, 1967). La depositación de sílice en Bahía Concepción es lenta pero las condiciones para la misma, tales como la temperatura, contenido de silicio y la existencia de las diatomeas como sustrato de silicio son favorables (Canet *et al.*, 2005a).

La descarga de agua termal de las ventanas hidrotermales en Bahía Concepción está constituida por 60 % de agua marina y 40 % de miembro termal final, con una salinidad menor a la del agua de mar (26.0 a 32.0) y está enriquecida en: sílice, calcio, manganeso, bario, boro, arsénico, mercurio,

yodo, hierro, litio, carbonatos, estroncio y concentraciones menores de cloro, sodio, sulfatos y bromo con respecto al agua de mar (Prol-Ledesma *et al.*, 2004). Estas condiciones podrán favorecer al picoplancton autótrofo, como ocurre en el lago Constance, Alemania, donde se registra una concentración de  $1.0 \times 10^3$  y  $1.6 \times 10^6$  Cél/ml (Weiss, 1988). La muestra de fluido hidrotermal se caracterizó por presentar una abundancia mayor de Cyanofitas que las otras muestras. La presencia de *Nostoc pruniforme* podría deberse a los escurrimientos de agua dulce, ya que esta especie es dulceacuática, muy abundante en temporada de lluvias y se le encuentra en rocas, en el fondo de los lagos, ventanas y raramente en el agua de mar (Wehr y Sheath, 2003); su abundancia puede deberse a la precipitación pluvial en Bahía Concepción, que es generalmente torrencial en la época de verano y se asocia con ciclones tropicales desde el Océano Pacífico (Mendoza-Salgado *et al.*, 2006). La especie *Trichodesmium erythraeum* es común en aguas tropicales y subtropicales en los mares de todo el mundo, vive en asociación con las diatomeas y es un importante fijador de nitrógeno (Lenes *et al.*, 2005). Lo anterior sugiere que el aumento de cyanobacterias en la muestra del fluido hidrotermal se debe a que las condiciones ambientales de las ventanas son las propicias para el crecimiento de éstas; sin embargo, estas condiciones no se presentaron tanto en las muestras de la columna de agua en el área del ventanal como en el área de control. Ambas especies son fijadoras de nitrógeno, y utilizan como fuente de nitrógeno al  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NO}_2^-$  (en ese orden de preferencia). La zona de estudio, como se ha mencionado con anterioridad, se encontró enriquecida con estos nutrientes, lo cual favoreció el desarrollo de estas especies. El nitrógeno es de particular importancia para las Cyanofitas ya que lo utilizan para la síntesis de vesículas de gas, ya que el déficit de nitrógeno no solo afecta el metabolismo negativamente, sino que también afecta a la flotabilidad del organismo (Cronberg y Annadotter, 2006).

Antoine *et al.* (1995) registraron para aguas oligotróficas en el mar Egeo una concentración promedio de clorofila-*a* de  $0.28 \text{ mg Chl-a m}^{-3}$ . En el sistema hidrotermal de Milos, Grecia, Robinson (2000), registró una concentración de clorofila-*a* en 1996 de  $0.06$  a  $0.14 \text{ mg Chl-a m}^{-3}$ , con una temperatura superficial de  $23^\circ \text{ C}$ , y para 1997, un intervalo de  $0.04$  a  $0.14 \text{ mg Chl-a m}^{-3}$  con una temperatura superficial de  $24^\circ \text{ C}$ . Los valores de clorofila-*a* registrados en este estudio fueron de varios órdenes de magnitud más altos que los registrados en otras áreas de ventanas hidrotermales, lo que también demuestra la condición eutrófica de la zona.

Longhurst (1987) menciona que la diferencia en abundancia está dada por la energía auxiliar (procesos relacionados con la transferencia de energía en la trama biológica) del sistema, que es, en primera instancia, la responsable de los cambios que promueven el crecimiento del fitoplancton. Los resultados derivados del índice de diversidad y la *t-student* en las dos áreas de estudio y la muestra obtenida en el fluido hidrotermal, indican que hubo

diferencias significativas entre las tres muestras, ya que la *t-student* calculada fue mayor que la *t-student* de tablas ( $1.6$ ). Esto confirma que no se trata de la misma comunidad fitoplanctónica debido a que las diferentes especies responden de diferente manera a los factores ambientales.

De acuerdo con los resultados del análisis de componentes principales, el primer factor (37.65 % Var) agrupó al hierro y los nitritos con grupos de las bacilariofitas y fitoflageladas, señalando que el incremento del hierro junto con los nitritos favorece al crecimiento de las bacilariofitas y fitoflageladas. El segundo factor agrupó los factores físicos (pH, salinidad, conductividad y sólidos totales disueltos) explicando el 30.34 % de la varianza. El tercer factor agrupó a la abundancia de las Cyanofitas relacionándola inversamente con los sulfatos; esto es, a mayor abundancia de las Cyanofitas, menor es la concentración de los sulfatos. El cuarto factor indica una correlación directa entre las fluctuaciones de la abundancia de los dinoflagelados y los nitratos. Al aumentar o disminuir los nitratos, los dinoflagelados incrementan o disminuyen su abundancia, respectivamente (Figura 4).

## 6. Conclusiones

El fitoplancton es sensible a los cambios ambientales y por ello se observó que las descargas hidrotermales influyeron en la densidad de los organismos fitoplanctónicos, en la composición y estructura y en la comunidad. El incremento en las concentraciones de los nutrientes se vio reflejada en la abundancia del grupo de las diatomeas y la presencia incluso de un florecimiento de *Chaetoceros curvisetus* y un número elevado de *Trichodesmium erythraeum*.

El análisis de la *t-student* permitió observar que hubo una diferencia significativa entre las tres muestras, y se infiere que se trata de tres comunidades distintas (como muestra la composición específica) que responden de forma distinta a los diferentes factores ambientales. Aunado a esto, el análisis de componentes principales corroboró la respuesta del grupo de las diatomeas y fitoflagelados debido a las altas concentraciones del hierro y nitritos.

Se considera que el área de estudio presentó un estado de eutrofia debido a los altos valores en las concentraciones de nitratos, nitritos, fosfatos y clorofila-*a*.

## Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el CONACyT mediante el proyecto J51127I y el proyecto IMPULSA-UNAM. Agradecemos también al CONACyT por la beca de doctorado 204949. Así mismo, agradecemos a Carles Canet, Antoni Camprubí, Sarita Frontana y Cristina Báncora por el apoyo proporcionado en el trabajo de campo. A Ruth Luna Soria del laboratorio de Fitoplancton y Productividad Primaria (ICMyL-UNAM) por el apoyo en el análisis de muestras de fitoplancton y a Sergio Castillo del laboratorio

de Biogeoquímica Acuática (ICMyL-UNAM) por realizar el análisis de pigmentos.

## Referencias

- Aluja-Banet, T., Morineau, A., 1999, Aprender de los datos: el análisis de componentes principales: una aproximación desde el Data Mining: Barcelona, EUB, 176 p.
- Antoine, D., Morel, A., André, J.M., 1995, Algal pigment distribution and primary production in the Eastern Mediterranean as derived from coastal zone color scanner observations, *Journal of Geophysical Research*, 100, 16193-16209.
- Arnórsson, S., Bjarnason, J.Ó., Gioud, N., Gunnarsson I., Stefánsson, A., 2006, Sampling and analysis of geothermal fluids, *Geofluids*, 6, 203-216.
- Balech, E., 1988, Los dinoflagelados del Atlántico Sudoccidental: Madrid, Instituto Español de Oceanografía-Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 310 p.
- Bernard-Theriault, L., Poulin, M., Bossé, L., 1999, Guide d'identification du phytoplancton marin de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Incluant également certains protozoaires: Ottawa, Canada, CNRC-NRC, Publication Espéciale Canadienne des Sciences Halieutiques et Aquatiques 128, 387 p.
- Bischoff, J.L., Rosenbauer R.J., 1984, The critical point and two-phase boundary of seawater, 200–500°C, *Earth Planetary Science Letters*, 68: 172–180.
- Brock, T.D., 1967, Relationship between standing crop and primary productivity along a hot spring thermal gradient, *Ecology*, 48, 566-571.
- Bustamante-García, J., 1999, Monografía geológico-minera del estado de Baja California Sur: Pachuca, Hidalgo, Consejo de Recursos Minerales-Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 234 p.
- Canet, C., Prol-Ledesma R.M., 2007, Mineralizing processes at shallow submarine hydrothermal vents: Examples from México, in Alaniz-Álvarez, S.A. and Nieto-Samaniego, Á.F. (eds.), *Geology of México: Celebrating the Centenary of the Geological Society of México: Geological Society of America Special Paper* 422, 359-376.
- Canet, C., Prol-Ledesma, R.M., Torres-Alvarado, I., Gilg, H.A., Villanueva, R.E., Lozano-Santa Cruz R., 2005a, Silica-carbonate stromatolites related to coastal hydrothermal venting in Bahía Concepción, Baja California Sur, Mexico: *Sedimentary Geology*, 174, 97–113.
- Canet, C., Prol-Ledesma, R.M., Proenza, J.A., Rubio-Ramos, M.A., Forrest, M.J., Torres-Vera, M.A., Rodríguez-Díaz, A.A., 2005b, Mn-Ba-Hg mineralization at shallow submarine hydrothermal vents in Bahía Concepción, Baja California Sur, Mexico, *Chemical Geology*, 224, 96-112.
- Cronberg, G., Annadotter, H., 2006, Manual on aquatic cyanobacteria. A photo guide and a synopsis of their toxicology: Copenhagen, International Society for the Study of Harmful Algae-United Educational, Scientific and Cultural Organization, 106 p.
- Cupp, E.E., 1943, Marine plankton diatoms of the west coast of North America, *Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography*, 5, 1-237.
- Dando, P.R., Stüben, D., Varnavas, S.P., 1999, Hydrothermalism in the Mediterranean Sea, *Progress in Oceanography*, 44, 333-367.
- Félix-Pico, E., Sánchez, R.S., 1976, Tercer informe final del programa de orientación técnica para el aprovechamiento de los recursos naturales, existentes y prácticas de maricultivos en Bahía Concepción y Ensenada de la Paz: Baja California Sur, México, Secretaría de Recursos Hidráulicos, Informe Técnico, 20 p.
- Forrest, M.J., 2004, The geology, geochemistry and ecology of a shallow water submarine hydrothermal vent in Bahía Concepcion, Baja California Sur, México: Monterey Bay, U. S. A., California State University, Tesis de Maestría, 112 p.
- Forrest, M.J., Melwani, A., 2003, Ecological consequences of shallow-water hydrothermal venting along the El Requesón Fault Zone, Bahía Concepción, B.C.S., Mexico: Geological Society of America Abstracts with Programs, 35, 577-578.
- Forrest, M.J., Ledesma-Vázquez, J., Ussler III, W., Kulongoski, J.T., Hilton, D.R., Greene, H.G., 2005, Gas geochemistry of a shallow submarine hydrothermal vent associated with El Requesón fault zone in Bahía Concepción, Baja California Sur, México: *Chemical Geology*, 224, 82-95.
- Gugliandolo, C., Italiano, F., Maugeri, T.L., 2006, The submarine hydrothermal system of Panarea (Southern Italy): biogeochemical processes at the thermal fluids-sea bottom interface. *Annals of Geophysics*, 49, 783-792.
- Gustafson, D.E. Jr., Stoeker, D.K., Johnson, M.D., Van Heukelem, W.F., Sneider, K., 2000, Cryptophyte algae are robbed of their organelles by the marine ciliate Myrionecta rubra, *Nature*, 405, 1049-1052.
- Hasle, G.R., Syversten E.E., 1997, Marine Diatoms, in Thomas, R.C. (ed.), *Identifying marine phytoplankton*: New York, Academic Press, 5-385.
- Ignatiades, L., Karydis, M., Vounatsou, P, 1992, A possible method for evaluating oligotrophy and eutrophication based on nutrient concentration scales: *Marine Pollution Bulletin*, 24, 238-243.
- Kamenev, G.M., Fadeev, V.I., Selin, N.I., Tarasov, V.G., 1993, Composition and distribution of macro- and meiobenthos around sublittoral hydrothermal vents in the Bay of Plenty, New Zealand: *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 27, 407-418.
- Kennish, M.J., 2000, *Practical handbook of marine science*: Boca Raton, Florida, CRC Press, 896 p.
- Ledesma-Vázquez, J., Johnson, M.E., 2001, Miocene–Pleistocene tectonosedimentary evolution of Bahía Concepción region, Baja California Sur (México): *Sedimentary Geology*, 144, 83–96.
- Lenes, J.M., Walsh, J.J., Otis, D.B., Carder, K.L., 2005, Iron fertilization of Trichodesmium off the west coast of Barbados: A one-dimensional numerical model: *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 52, 1021-1041.
- Longhurst, A.R., Pauly, D., 1987, *Ecology of tropical oceans*: New York, Academic Press, 407 p.
- López-Cortés, D.J., Gárate-Lizárraga, I., Bustillos-Guzmán, J.J., Alonso-Rodríguez, R., Murillo-Murillo, I., 2003, Variabilidad del estado trófico y la biomasa del fitoplancton de Bahía Concepción, Golfo de California (1977-1999), *Hidrobiología*, 13, 195-206.
- Lovegrove, T., 1960, An improved form of sedimentation apparatus for use with an inverted microscope, *Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer*, 25, 279-284.
- Ludwing, J.A., Reynolds, J.F., 1988, *Statistical ecology: A Primer in Methods and Computing*: New York, John Wiley and Sons, 368 p.
- Magurran, A.E., 1989, *Diversidad ecológica y su medición*: Barcelona, Vedità, 200 p.
- Martínez-López, A., Gárate-Lizárraga, I., 1994, Cantidad y calidad de la materia orgánica particulada en Bahía Concepción, en la temporada de reproducción de la almeja catarina Argopecten circularis (Sowerby, 1835): *Ciencias Marinas*, 20, 301-320.
- McFall, C.C., 1968, *Reconnaissance geology of Concepcion Bay Area, Baja California, Mexico*: Stanford University Publications, Geological Science, 10, 1-25.
- Mendoza-Salgado, R.A., Lechuga-Devéze, C.H., Ortega-Rubio, A., 2006, Influence of rainfall on a subtropical arid zone coastal system, *Journal of Arid Environments*, 66: 247-256.
- Michard A., 1989, Rare earth element systematics in hydrothermal fluids, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53, 745-750.
- Moreno, J.L., Licea, S. y Santoyo, H., 1996, Diatomales del Golfo de California: Baja California Sur, México, Universidad Autónoma de Baja California Sur, SEP-FOMES, PROMARCO, 273 p.
- Obeso-Niebla, M., Alatorre-Mendieta, M.A. y Jiménez-Illescas, A.R., 1996, Modelación de la marea en Bahía Concepción, B.C.S., México, Océanide, 11, 1-8.
- Pichler, T., Giggenbach, W.F., McInnes, B.I.A., Buhl, D., Duck, B., 1999, Fe sulfide formation due to seawater-gas-sediment interaction in a shallow water hydrothermal system at Lihir Island, Papua New Guinea, *Economic Geology*, 94, 281-288.
- Pielou, E.C., 1974, *Population and community ecology, Principles and methods*: New Yoek, Gordon and Breach, 432 p.

- Prol-Ledesma, R.M., 2003, Similarities in the chemistry of shallow submarine hydrothermal vents: *Geothermics*, 32, 639-644.
- Prol-Ledesma, R.M., Canet, C., Torres-Vera, M.A., Forrest, M.J., Armienta, M.A., 2004, Vent fluid chemistry in Bahía Concepción coastal submarine hydrothermal system, Baja California Sur, Mexico: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 137, 311-328.
- Robinson, C., 2000, Plankton gross production and respiration in the shallow water hydrothermal systems of Milos, Aegean Sea, *Journal of Plankton Research*, 22, 887-906.
- Round, F.E., Crawford, R.M., Mann, D.G., 1990, *The diatoms: Biology and Morphology of Genera*, Cambridge University Press, Cambridge, 758 p.
- Sarano, F., Murphy, R.C., Houghton, B.F., Hedenquist, J.W.S., 1989, Preliminary observations of submarine geothermal activity in the vicinity of White Island volcano, Taupo Volcanic zone, New Zealand: *Journal of the Royal Society of New Zealand*, 19, 449-459.
- Skoog, D.A., Holler, F.J., Nieman, T.A., 2001, *Principios de análisis instrumental*: Madrid, McGraw Hill, 1028 p.
- Sorokin, Yu.I., Sorokin, P.Yu., Zakuskina, O.Yu., 1994, Microplankton and its functional activity in zones of coastal vents of the West Pacific: *Zhurnal Obshchey Biologii*, 55, 30-49.
- Sorokin, Yu.I., Sorokin, P.Yu., Zakuskina, O.Yu., 1998, Microplankton and its functional activity in zones of shallow hydrothermal in the Western Pacific: *Journal of Plankton Research*, 20, 1015-1031.
- Sorokin, Yu.I., Sorokin, P.Yu., Zakuskina, O.Yu., 2003, Microplankton and its function in a zone of shallow hydrothermal activity: the Kraternaya Bay, Kurile Islands: *Journal of Plankton Research*, 25, 495-506.
- Stoffers, P., Hannington, M., Wright, I., Herzig, P., de Ronde, Shipboard Scientific Party, 1999, Elemental mercury at submarine hydrothermal vents in the Bay of Plenty, Taupo volcanic zone, New Zealand, *Geology*, 27, 931-934.
- Strickland, J.D.H., Parsons, T.R., 1972, *A practical handbook of sea water analysis*: Ottawa, Fisheries Research Board of Canada, 310 p.
- Tarasov, V.G., Propp, M.V., Propp, L.N., Kamenev, G.M., Blinov, S.V., 1985, Hydrothermal venting and Specific Water Ecosystem in Kraternaya Caldera (Kuriles): Vladivostok, Rusia, 30p.
- Tarasov, V.G., Propp, M.V., Propp, L.N., Zhirmunsky, A.V., Namsakavy, B.B., Gorlenko, V.M., Starynin, D.A., 1990, Shallow-water gasohydrothermal vents of Ushishir Volcano and the ecosystem of Kraternaya Bight (The Kurile Islands): *Marine Ecology*, 11, 1-23.
- Tarasov, V.G., Kondrashev, S.V., Lastivka, T.V., 1991, Oxygen metabolism of the diatom and bacterial mats of Kraternaya Bight, in Tarasov V.G. (ed.), *Shallow-water vents and Ecosystem of the Kraternaya Bight (Ushishir Volcano, Kuriles)*, Vol. 1: Functional Parameters, Part 2: Vladivostok, Rusia, DVO RAN Press, 4-19.
- Tarasov, V.G., Gebruk, A.V., Shulkin, V.M., Kamevnev, G.M., Fadeev, V.I., Kosmynin, V.N., Malakhov, V.V., Starynin, D.A., Obzhirov, A.I., 1999, Effect of shallow-water hydrothermal venting on the biota of Matupi Harbour (Rabaul Caldera, New Britain Island, Papua New Guinea): *Continental Shelf Research*, 19, 79-116.
- Tarasov, V.G., Gebruk, A.V., Mironov, A.N., Moskalev, L.I., 2005, Deep-sea and shallow-water hydrothermal vent communities: two different phenomena?: *Chemical Geology*, 224, 5-39.
- Taylor, F.J.R., 1976, Dinoflagellates from the international Indian Ocean expedition, A report on material collected by the R.V. "Anton Bruun" 1963-1964, *Bibliotheca Botanica* 132: Stuttgart, Germany, 234p.
- Throndsen, J., 1997, The planktonic marine flagellates, in: Tomas, R.C. (ed.), *Identifying marine phytoplankton*: New York, Academic Press, 591-729.
- Utermöhl, H., 1958, Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik: Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie Mitteilungen 9, 1-38.
- Vidal, V.M., Vidal, F.V., Isaacs, J.D., Young, D.R., 1978, Coastal submarine hydrothermal activity off Northern Baja California: *Journal of Geophysical Research*: 83, 1757-1774.
- Villanueva-Estrada, R.E., Prol-Ledesma, R.M., Torres-Alvarado, I.S., Canet, C., 2005, Geochimical modeling of a Shallow Submarine Hydrothermal System at Bahía Concepción, Baja California Sur, México in Proceedings World Geothermal Congress: Antalya, Turkey, 1-5.
- Wehr, J.D., Sheath, R.G., 2003, *Freshwater algae of North America: Ecology and Classification*: San Diego, U.S.A., Academic Press, 918 p.
- Weiss, T., 1988, Trophic interactions among heterotrophic microplankton, nanoplankton, and bacteria in Lake Constance: *Hydrobiologia*, 191: 111-122.
- Yentsch, C.S., Mensel, D.W., 1963, A method for determination of phytoplankton chlorophyll and phaeophytin by fluorescence: *Deep-Sea Research*, 10, 221-231.
- Zhang Z., Zhenzhen, W., Chunying, L., Lei, X., 2006, The study on the effect of NO on the growth of *Chaetoceros curvisetus*: *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 24, 413-420.
- Zhirmunsky, A.V., Tarasov, V.G., 1990, Unusual marine ecosystem in the flooded crater of Ushisher volcano: *Marine Ecology Progress Series*, 65, 95-102.

Manuscrito recibido: Septiembre 23, 2008.

Manuscrito corregido recibido: Diciembre 02, 2008.

Manuscrito aceptado: Diciembre 10, 2008.