

**VARIACION ESPACIO-TEMPORAL DE TEMPERATURA EN
UN HABITAT DE INVIERNO DE LA BALLENA GRIS:
LAGUNA OJO DE LIEBRE**

**TEMPORAL AND SPATIAL VARIATION OF TEMPERATURE
IN A WINTER HABITAT OF THE GRAY WHALE:
OJO DE LIEBRE LAGOON**

Saúl Alvarez Borrego¹
Adolfo Granados Guzmán²

¹ Instituto de Investigaciones Oceanológicas
Universidad Autónoma de Baja California
Carretera Tijuana-Ensenada km 105
Ensenada, Baja California, México

² División de Oceanología
Centro de Investigación Científica y
de Educación Superior de Ensenada
Av. Ruiz y 17a
Ensenada, Baja California, México

Recibido en noviembre de 1990; aceptado en septiembre de 1991

RESUMEN

Obtuvimos series de tiempo de temperatura de tres localizaciones de los canales de la Laguna Ojo de Liebre, Baja California Sur, mediante termógrafos de registro continuo *in situ*, a 6-8 m de profundidad, durante el periodo enero de 1985 a marzo de 1986. El intervalo de variación anual de temperatura en el interior de la laguna fue 13.5-26°C. No se detectaron gradientes claros horizontales de temperatura en los canales, de localización a localización. Sin embargo, en agosto y septiembre la temperatura aumentó de la boca hacia el interior unos 2°C. La mayor parte de la variancia de temperatura está en tres bandas de periodo: variaciones de periodo corto (hasta 2°C de amplitud) principalmente debidas a las corrientes de marea y a los gradientes horizontales de T°C entre los canales y las zonas someras; variaciones de periodo intermedio (una a dos semanas, hasta 4°C de amplitud) debidas, entre otros factores, a secuencias de eventos de surgencia; y variaciones de periodo largo (hasta 12°C) debidas a la secuencia estacional de irradiación solar y temperatura atmosférica. Los eventos de intensificación de surgencia llegan a disminuir la temperatura de la laguna hasta en aproximadamente 4°C, y ocasionan una alta fertilidad en la misma. Durante el período de estancia de las ballenas grises en Ojo de Liebre (finales de noviembre-marzo) el intervalo de variación de T°C fue de 13.5°C a 19°C.

ABSTRACT

We generated continuous temperature time series records, with *in situ* analogue recording thermographs, for three locations, at 6-8 m depth, in the channels of Laguna Ojo de Liebre, Baja California Sur, during the period January 1985 to March 1986. The annual range in the lagoon was 13.5-26°C. We did not detect clear horizontal temperature gradients in the channels, from location to location. However, during August and September the temperature increased from the mouth towards the interior, with ~2°C more in the internal extreme. Most temperature variance

was in three period bands: variance of short period (with up to 2°C of amplitude) mainly due to tidal currents and to the horizontal temperature gradients between the channels and the shallow areas of the lagoon; variance of intermediate period (one or two weeks, with up to 4°C of amplitude) due, among other factors, to the sequence of upwelling events; and variance of long period (up to 12°C) due to the seasonal sequence of solar irradiance and atmospheric temperature. Upwelling intensification events decrease the temperature of the lagoon by as much as 4°C, and cause high organic fertility in it. During the stay period of the gray whale in Ojo de Liebre (end of November-March) the T°C range was from 13.5°C to 19°C.

INTRODUCCION

A pesar de la gran importancia que tienen las lagunas costeras de la parte central de la costa del Pacífico de la península de Baja California para el ciclo reproductivo de la ballena gris (*Eschrichtius robustus*) (Fleischer y Beddington, 1985), es muy poco lo que se han estudiado sus aspectos ecológicos básicos. Las más altas abundancias de ballena gris en aguas mexicanas se han reportado para la Laguna Ojo de Liebre (Maravilla-Chávez, en prensa). La temperatura del agua (T°C) es una variable muy importante que provee información sobre la ecología y los procesos físicos que ocurren en los cuerpos de agua costeros. Aunque la T°C por sí sola no nos permite cuantificar procesos físicos y químicos, en el caso de Ojo de Liebre puede darnos una idea a *grosso modo* sobre procesos de advección, tiempo de residencia del agua, la entrada a la laguna de aguas de surgencia presentes en Bahía Vizcaíno, y la fertilización que ello implica por los nutrientes que vienen con ellas.

Como uno de los habitats de invierno de la ballena gris, algunos aspectos importantes de la Laguna Ojo de Liebre que podemos considerar son: los fenómenos físicos que controlan la temperatura del agua; las magnitudes de las variaciones de T°C que se presentan tanto en la región de la boca como en el interior de la laguna; las periodicidades de los principales factores productores de variancia de T°C; y el intervalo de T°C durante la estancia de la ballena gris en nuestro año de muestreo.

AREA DE ESTUDIO

La Laguna Ojo de Liebre se encuentra en la parte sureste de Bahía Vizcaíno (Fig. 1). Forma parte de la Reserva de la Biósfera El Vizcaíno-Ojo de Liebre, establecida por decreto presidencial publicado en el Diario Oficial de la Federación el 30 de enero de 1988. Se

INTRODUCTION

Coastal lagoons of the Baja California peninsula Pacific coast are very important for the life cycle of the gray whale (*Eschrichtius robustus*) (Fleischer and Beddington, 1985). Yet, not much of their basic ecology has been studied. Greatest abundances of gray whales in Mexican waters have been reported for Ojo de Liebre lagoon (Maravilla-Chávez, in press). Water temperature (T°C) is a very important variable that provides ecological information and also about physical processes that occur in coastal waters. With only T°C data we cannot quantify physical and chemical processes. Nevertheless, in the case of Ojo de Liebre lagoon, T°C can give us a rough idea about advection, water residence time, the input of upwelled waters from Vizcaíno Bay to the lagoon, and the fertilization that this implies due to the high nutrient content of these waters.

As one of the gray whale winter habitats, some important aspects of Ojo de Liebre lagoon that we may consider are: the physical phenomena that control T°C; the T°C ranges, both in the lagoon's interior and at the mouth; the periodicities of the main factors controlling T°C variance; and the T°C range during the stay of the gray whale, in our sampling year.

STUDY AREA

Ojo de Liebre lagoon is at the south-eastern part of Vizcaíno Bay (Fig. 1). It is part of the Vizcaíno-Ojo de Liebre Reserve of the Biosphere, established by presidential decree published officially on January 30, 1988. It is located to the south of two other coastal lagoons of the area, Manuela and Guerrero Negro. The region is desertic with very low precipitation; climatically it is in a very dry or arid subregion, with extreme thermal oscillation. It is an area of high solar

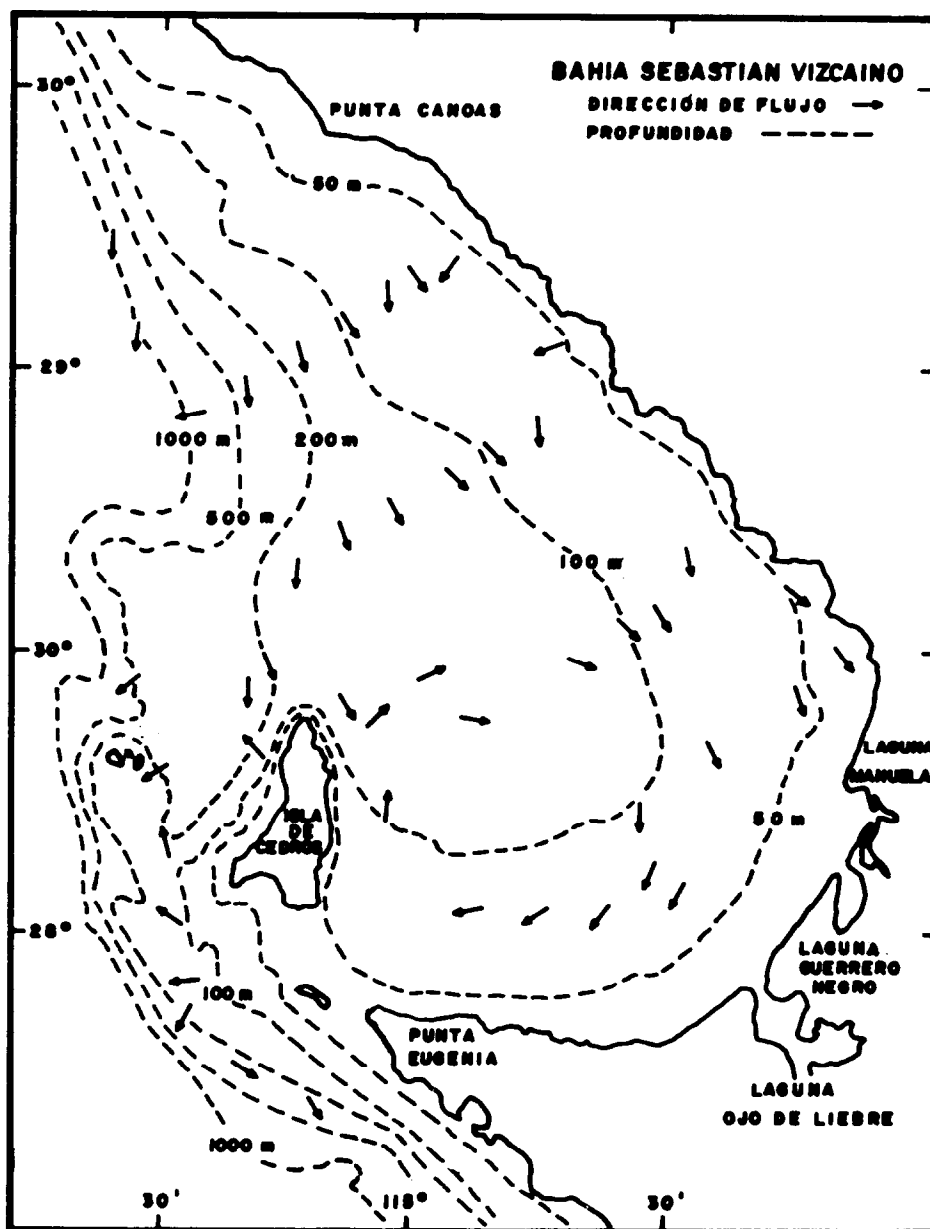


Figura 1. Batimetría (tomada de Wyllie, 1961) y circulación (tomada de la Contribución 1057 de Scripps, 1958) de Bahía Sebastián Vizcaíno.

Figure 1. Bathymetry (from Wyllie, 1961) and circulation (from Scripps Contribution 1057, 1958) of Sebastián Vizcaíno Bay.

localiza al sur de otras dos lagunas costeras del área, Laguna Manuela y Laguna Guerrero Negro. El área es desértica con muy baja precipitación pluvial; climáticamente está en una subregión muy seca o árida, con oscilación térmica extremosa. Es una zona de alta incidencia solar y con presencia de fuertes vientos del noroeste durante gran parte del año, lo cual provoca una elevada evaporación. En la estación meteorológica de Guerrero Negro se han registrado precipitaciones pluviales producto del efecto de ciclones provenientes del suroeste, con valores de entre 5 y 30 mm. Estas tormentas tropicales han tenido una incidencia entre dos y siete por año en las décadas de los sesentas y setentas (Salinas-Zavala *et al.*, en prensa). No hay ningún aporte de agua dulce superficial a estas lagunas.

Ojo de Liebre tiene una boca que la comunica permanentemente con Vizcaíno. Su batimetría es muy irregular, con una gran cantidad de bajos e islas planas (Fig. 2) que se cubren y descubren periódicamente con la marea. La marea registrada en la Isla de Cedros tiene una pleamar máxima de 1.58 m y una bajamar mínima de -1.50 m (CICESE, 1991). Los canales de Ojo de Liebre tienen profundidades de hasta más de 20 m.

Para entender mejor la fenomenología que regula los cambios de T°C en la Laguna Ojo de Liebre, es necesario considerar primero la batimetría de Bahía Vizcaíno y los movimientos del agua en esta bahía. A diferencia de otras lagunas costeras de Baja California, como Bahía San Quintín y Laguna San Ignacio, que están conectadas directamente con una zona oceánica de aguas relativamente profundas, la Laguna Ojo de Liebre está conectada a Bahía Vizcaíno que es relativamente somera. Esto aísla un tanto a Ojo de Liebre de procesos costeros oceánicos importantes como las surgencias. A unos 20 km de la boca de Ojo de Liebre la profundidad del fondo de Vizcaíno es apenas 50 m (Fig. 1), por lo que las surgencias que se dan localmente en esta zona acarrear a la superficie aguas relativamente someras, no tan frías como las de océano abierto.

El agua de Vizcaíno circula en forma de un circuito en el sentido de las manecillas del reloj, con centro al este de la Isla de Cedros (Fig. 1) (Contribución 1057, Scripps, 1958). Al norte y oeste de Vizcaíno, en las zonas adyacentes a Punta Canoas por un lado y a la

irradiance and with strong northwesterly winds during most of the year, which causes high evaporation rates. At Guerrero Negro, meteorological records show precipitations caused by the incidence of tropical storms coming from the southwest, with values between 5 and 30 mm. There have been some two to seven tropical storms per year in the decades of the 1960's and 1970's (Salinas-Zavala *et al.*, in press). There is no above-ground fresh water input to these coastal lagoons.

Ojo de Liebre has a mouth that keeps a permanent communication with Vizcaíno Bay. The bathymetry of the lagoon is very irregular, with a great quantity of shallows and flat islands (Fig. 2). Large areas are covered and uncovered periodically with the tide. Tidal records from Cedros Island show a maximum high tide of 1.58 m, and a minimum low tide of -1.50 m (CICESE, 1991). Depths of Ojo de Liebre channels are more than 20 m.

In order to understand the phenomena that control T°C in Ojo de Liebre, it is necessary to know the bathymetry and the dynamic processes of Vizcaíno Bay. Ojo de Liebre is different from other coastal lagoons of Baja California, like San Quintín or San Ignacio, with respect to their connection with the open ocean. Ojo de Liebre is not connected directly to an oceanic area with deep waters. It is connected to Vizcaíno Bay, which is relatively shallow. This isolates Ojo de Liebre from important coastal oceanic processes, such as upwelling events, to a certain extent. Some 20 km from the mouth of Ojo de Liebre, Vizcaíno Bay depth is only 50 m (Fig. 1), so that local upwelling carries relatively shallow water to the surface, and these waters are not as cold as those of open ocean upwelling areas.

The water of Vizcaíno Bay circulates in a clockwise eddy with center east of Cedros Island (Fig. 1) (Contribution 1057, Scripps, 1958). North and west of Vizcaíno Bay, in the oceanic areas adjacent to Punta Canoas and Cedros Island, there are intense upwelling events, such as those reported for August 1952 (Contribution 1057, Scripps, 1958) and April 1962 (Alvarez-Borrego, 1972), with surface T°C's lower than 13°C. Due to the circulation mentioned above, these upwelled waters are transported to the interior of Vizcaíno Bay.

Isla de Cedros por el otro, se han detectado intensas surgencias, como en agosto de 1952 (Contribución 1057, Scripps, 1958) y en abril de 1962 (Alvarez-Borrego, 1972), con T°C superficiales menores a 13°C. Por la circulación antes mencionada, estas aguas de surgencia son transportadas al interior de Bahía Vizcaíno.

MATERIALES Y METODOS

Se instalaron termógrafos de registro analógico *in situ*, marca Peabody Ryan, en tres localizaciones de los canales de la laguna (A, B y C; Fig. 2). Se colocaron en cilindros de concreto, de 20 cm de altura y 45 cm de diámetro, con un espacio rectangular para albergar el termógrafo, cerrado con una malla de varilla corrugada al nivel de la cara superior del cilindro. Se situaron a suficiente profundidad como para permanecer bajo el agua aun en las mareas vivas más bajas. Las profundidades con relación al nivel medio del mar fueron: punto A, 4.5 m; puntos B y C, 8 m. La precisión de las mediciones de temperatura fue de $\pm 0.5^\circ\text{C}$, y en el tiempo hubo un error máximo de media hora para un período de tres meses (que fue el período máximo que se dejaron sin atender los termógrafos). Los datos se digitizaron manualmente con dos lectores independientes, con intervalo de lectura de una hora.

Debido a que en ocasiones se perdieron los instrumentos o se recuperaron enterrados en la arena, del punto A sólo tenemos datos del 29 de enero al 20 de abril y del 24 de junio al 25 de septiembre de 1985; del punto B del 29 de enero al 3 de febrero, del 4 de abril al 16 de junio y del 23 de junio al 17 de agosto de 1985, y del 17 de enero al 9 de marzo de 1986; y del punto C del 30 de enero al 24 de junio de 1985, y del 17 de agosto de 1985 al 8 de marzo de 1986 (Figs. 3-5b). Para evitar el enterramiento de los termógrafos podríamos haberlos suspendido de boyas, o algo similar, pero en otros estudios los hemos perdido por robo, redes de pesca u otras causas.

RESULTADOS

Las temperaturas mínimas de los termogramas para cada punto fueron: A) 13.5°C, B) 14.5°C y C) 13.5°C, y se presentaron el 3, 2 y 8 de febrero de 1985, respectivamente. Las

MATERIALS AND METHODS

We installed *in situ* analogue continuous recording Peabody Ryan thermographs at three locations in the channels of the lagoon (A, B, and C; Fig. 2). We put the thermographs at enough depth for them to be under water even with the lowest tides. To install them, we used cylinders made of concrete, 20 cm in height and 45 cm in diameter, with a rectangular space for the thermograph, protected with an iron grating at the upper face of the cylinder. Depths with respect to mean low sea level were: location A, 4.5 m; B and C, 8 m. The T°C precision was $\pm 0.5^\circ\text{C}$, and we had a maximum time error of half an hour in a period of three months (which was the maximum time the thermographs were left unattended). The data were digitized manually with two independent readers, with a reading interval of one hour.

On some occasions we lost the instruments or they were found buried under the sand, and for this reason we only have data from location A from January 29 to April 20, and from June 24 to September 25, 1985; from location B from January 29 to February 3, from April 4 to June 16, and from June 23 to August 17, 1985, and from January 17 to March 9, 1986; and from location C from January 30 to June 24, 1985, and from August 17, 1985 to March 8, 1986 (Figs. 3-5b). To prevent the thermographs from being buried, we could have suspended them from buoys, or something similar, but on other occasions we have lost them due to robbery, fishing nets or other causes.

RESULTS

The T°C minima for the thermograms from each location were: A) 13.5°C, B) 14.5°C and C) 13.5°C, and they were recorded on February 3, 2, and 8, 1985, respectively. Maximum registered T°C's were: A) 25°C, B) 23°C and C) 26°C, on September 3, August 13 and September 2, 1985, respectively (Figs. 3-5b).

The short period T°C variation, mainly diurnal, is shown with clarity in the records (Figs. 3-5b). It is due mainly to tidal currents and the horizontal T°C gradients between the channels and the shallow areas. Comparing the T°C variations at location A, for April 2,

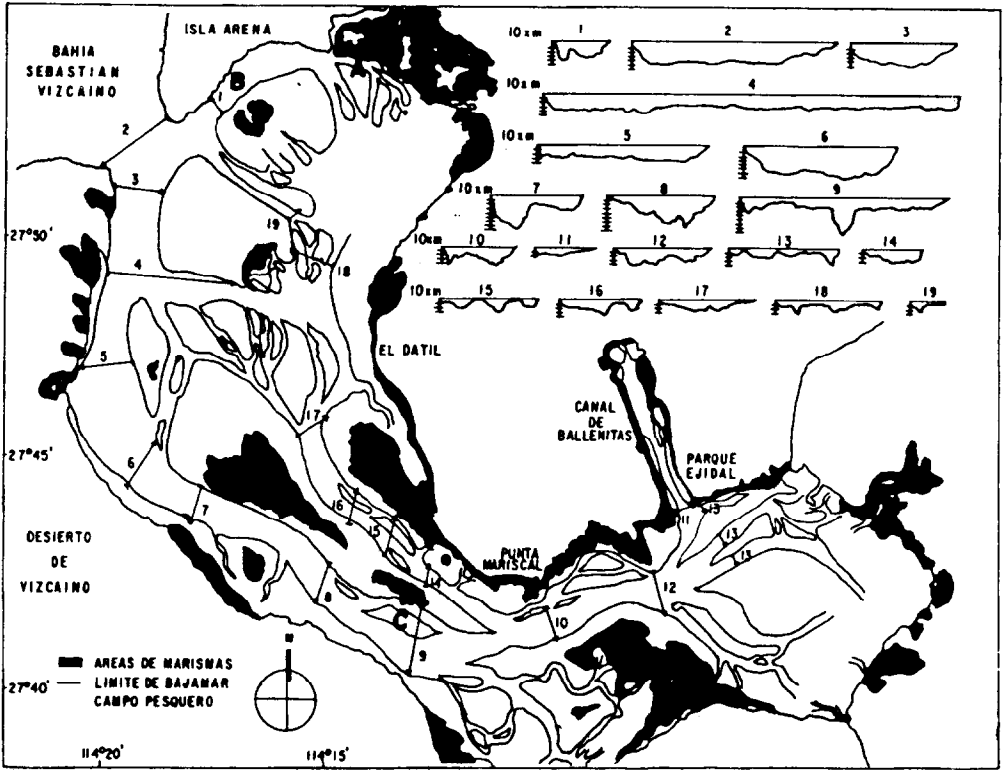


Figura 2. Mapa batimétrico y localización de los puntos de muestreo de Ojo de Liebre (A, B y C). La batimetría está basada en ecogramas y fotografías aéreas de INEGI (antes DETENAL) tomadas en 1972, y fue preparada por personal del CET del Mar de Guerrero Negro (P. Sánchez, Z. Salinas y S. Clampallas) en 1985.

Figure 2. Bathymetric chart and sampling locations in Ojo de Liebre (A, B and C). Bathymetry is based on ecograms and photographs of INEGI (DETENAL) produced in 1972, and it was prepared by personnel of CET del Mar at Guerrero Negro (P. Sánchez, Z. Salinas and S. Clampallas) in 1985.

temperaturas máximas registradas fueron: A) 25°C, B) 23°C y C) 26°C, el 3 de septiembre, 13 de agosto y 2 de septiembre de 1985, respectivamente (Figs. 3-5b).

La variación de T°C de período corto, principalmente diurno, se muestra con claridad (Figs. 3-5b) y es debida principalmente a las corrientes de marea y a los gradientes horizontales de T°C entre los canales y las zonas someras de la laguna. Comparando las variaciones de T°C con las del nivel del mar

3, and 4, with the sea level, enlarging the time and T°C scales, we can see that T°C had maximum values with low tide during the afternoon (Fig. 6). These short period T°C fluctuations had amplitudes of up to 2°C. At location B, these short period fluctuations were smaller compared with those of location A, in spite of the relatively short distance between both locations. Maybe this was due to the thermograph at location B having the tendency to be buried by the sediments. The

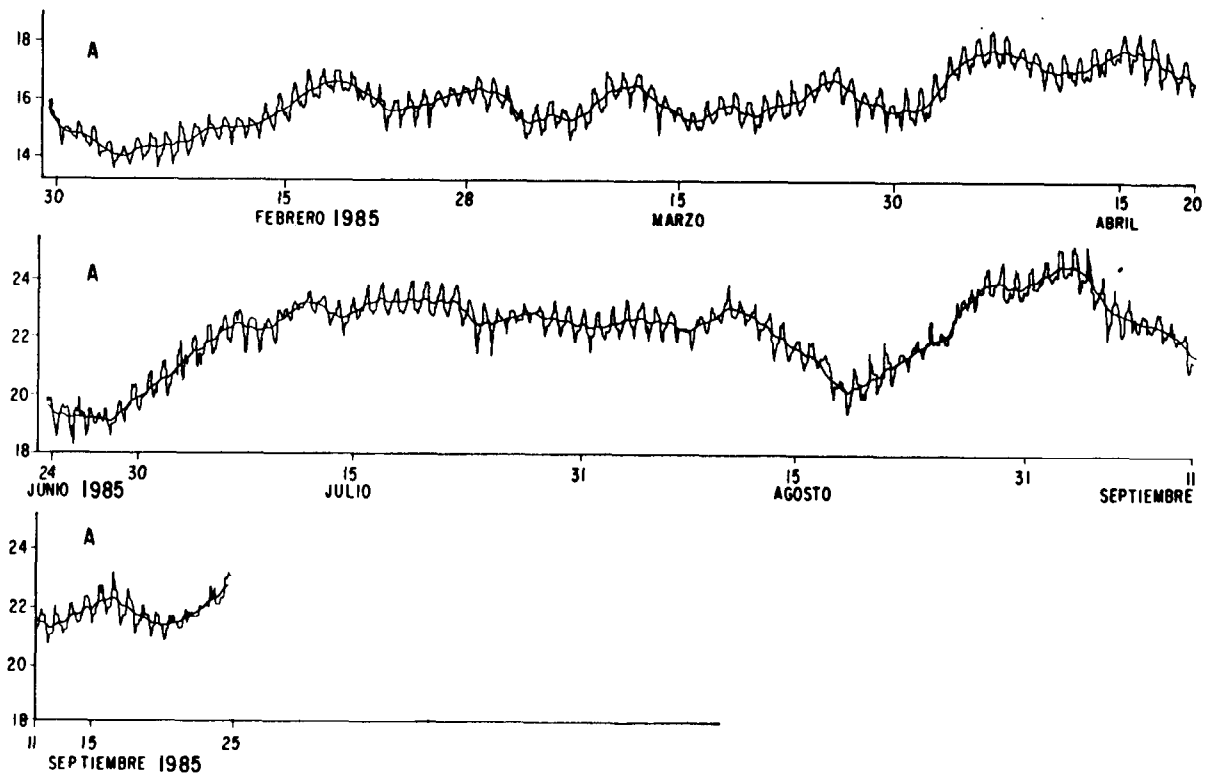


Figura 3. Termograma del punto A.
Figure 3. Thermogram from location A.

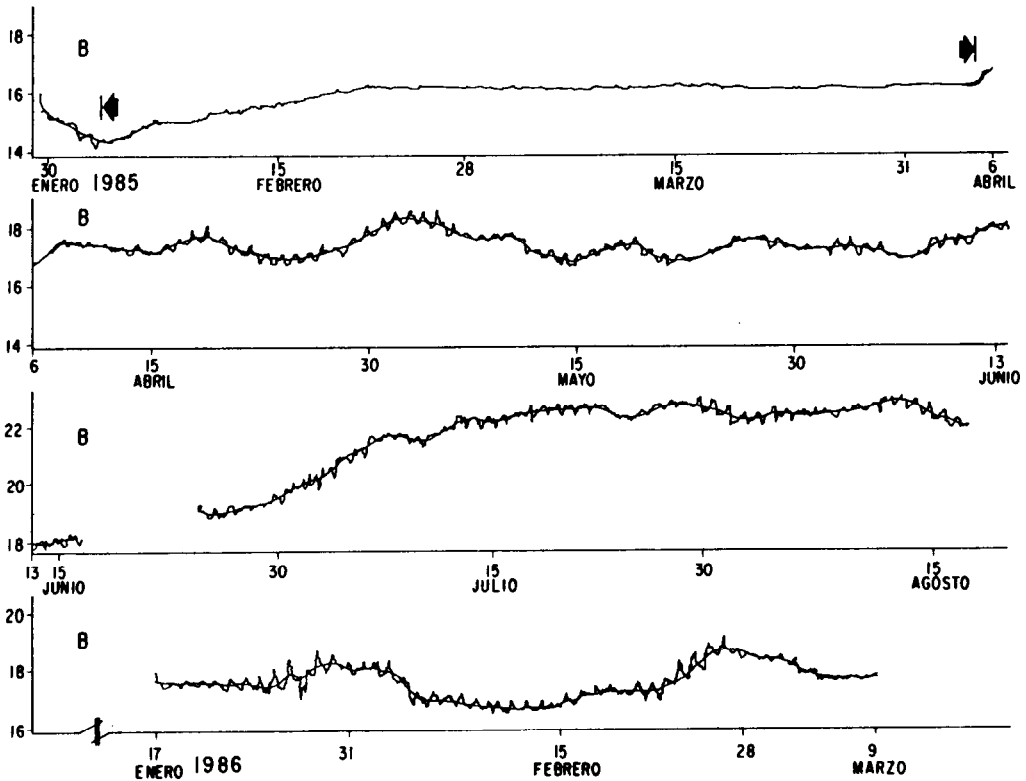


Figura 4. Termograma del punto B. El termógrafo estuvo cubierto por arena en el período marcado por las flechas.
Figure 4. Thermogram from location B. The thermograph was buried under the sand during the period indicated by the arrows.

para los días 2, 3 y 4 de abril, en el punto A, expandiendo las escalas de tiempo y temperatura, se aprecia que la $T^{\circ}C$ presentó los valores máximos en la tarde con marea baja (Fig. 6). Las variaciones de período corto tuvieron amplitudes de hasta un par de grados centígrados. En el punto B, estas variaciones de período corto son muy pequeñas comparadas con las del punto A, a pesar de la cercanía. Esto podría deberse a que el termógrafo del punto B tendía a ser enterrado por el movimiento de los sedimentos en esa localidad. La capa de sedimento sobre el termógrafo filtraba en cierta medida las variaciones de $T^{\circ}C$. Algo de este efecto ocurrió también en el punto C, aunque fue menor. Por este tipo de efecto no es apropiado el hacer una compa-

sediment layer on top of the thermograph filtered to a certain extent the $T^{\circ}C$ variations. Something similar occurred at location C, although the effect was weaker. Due to this kind of phenomenon it is not appropriate to make a direct comparison of the magnitude of short period fluctuations in thermograms from two or more locations.

There are also $T^{\circ}C$ variations of intermediate periods, of the order of one to two weeks, and the seasonal variation. Fluctuations of intermediate period had their greater amplitudes during summer with up to more than $4^{\circ}C$ (location A, Fig. 3); and the seasonal variation had an amplitude of up to $10^{\circ}C$ at location A (Fig. 3) and $12^{\circ}C$ at location C (Fig. 5a).

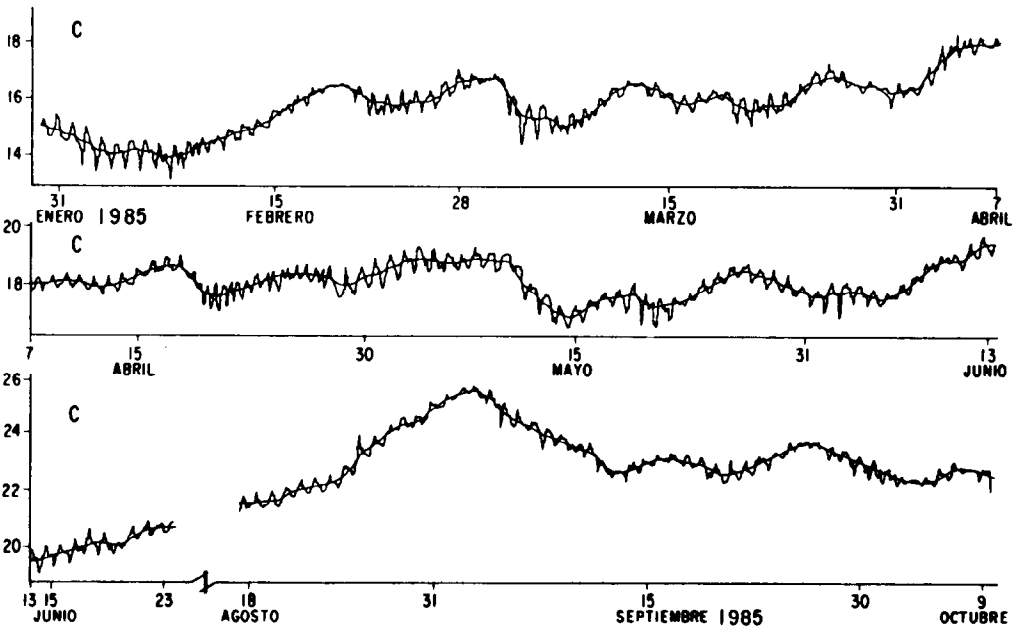


Figura 5a. Termograma del punto C (primera parte).
Figure 5a. Thermogram from location C (first part).

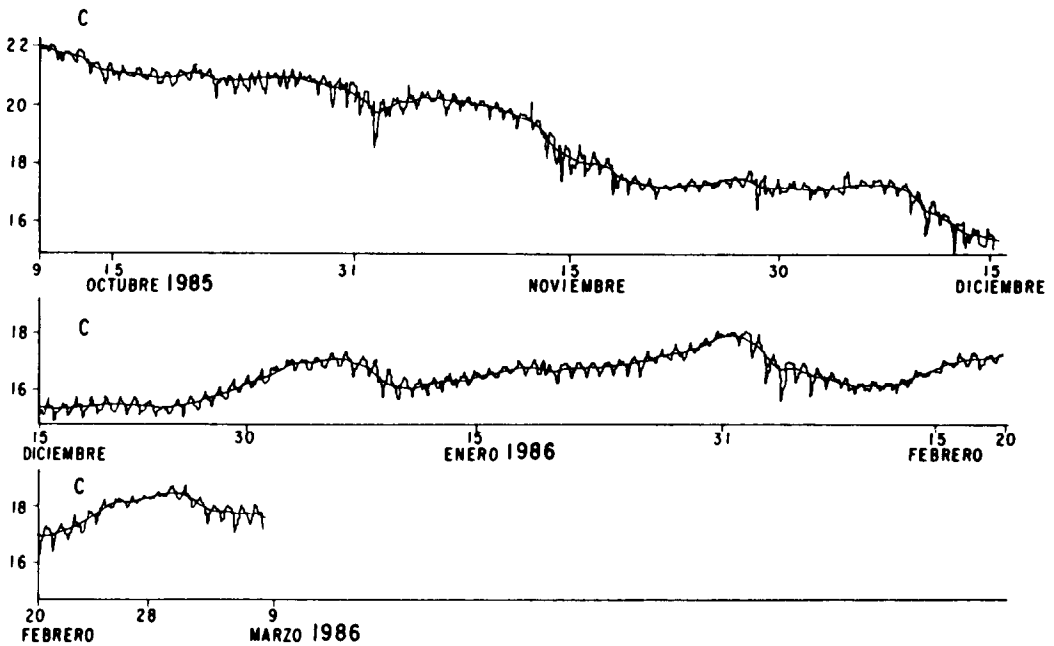


Figura 5b. Termograma del punto C (segunda parte).
Figure 5b. Thermogram from location C (second part).

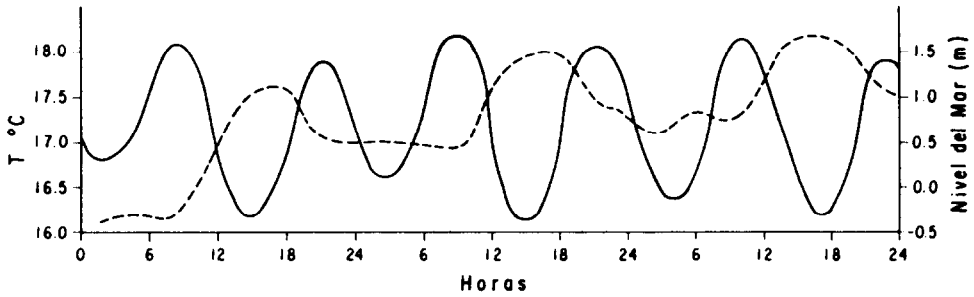


Figura 6. Series de tiempo de temperatura (—) y nivel del mar (---) en el punto A durante los días 2, 3 y 4 de abril. El nivel del mar es el predicho para la boca de Guerrero Negro (tomado del calendario publicado por la Dirección General de Oceanografía de la Secretaría de Marina e Instituto de Geofísica de la UNAM, 1984).

Figure 6. Temperature (—) and sea level (---) time series at point A on April 2, 3 and 4. Sea level is the predicted for the entrance to Guerrero Negro (from the calendar published by Dirección General de Oceanografía de la Secretaría de Marina and UNAM's Institute of Geophysics, 1984).

ración directa de las variaciones de período corto de localización a localización.

Además, se aprecian variaciones de período intermedio, del orden de una a dos semanas, y la variación estacional de invierno a verano. Las variaciones de período intermedio tuvieron su mayor amplitud en verano hasta con más de cuatro grados (punto A, Fig. 3); y la variación estacional tuvo una amplitud de hasta diez grados en el punto A (Fig. 3) y doce grados en el punto C (Fig. 5a).

En las dos únicas localizaciones para las que contamos con datos de enero a marzo de 1985 y 1986 (puntos B y C; Figs. 4, 5a y 5b), se aprecian mayores temperaturas diarias promedio en el segundo año que en el primero (hasta más de 2°C en algunos casos). Esto posiblemente se deba a diferencias interanuales en las condiciones meteorológicas. Nuestros datos no permiten describir variaciones interanuales apropiadamente.

DISCUSION

Para fines de comparación es interesante notar que en el mar de Bering, el habitat de

We have data from January through March for both 1985 and 1986, from locations B and C (Figs. 4, 5a and 5b), and we can see that there were greater daily average temperatures in the second year (more than 2°C in some cases). Possibly, this was due to interannual differences in meteorological conditions. Our data do not allow for appropriate descriptions of interannual variability.

DISCUSION

In order to compare, it is interesting to consider that in the Bering Sea, the summer habitat of the gray whale, the maximum surface temperature in the southern part is 6°C, with a salinity of 32.8-33.2‰ (Alvarez-Borrego *et al.*, 1972), and during winter the northern half of the Bering Sea is frozen. During the stay period of the gray whale in Ojo de Liebre (end of November-March), the largest T°C range was 13.5-19°C.

Bathymetry affects the T°C spatial distribution inside the lagoon. During the day, water in shallow areas is warmed up more intensively than that of the channels. During

verano de la ballena gris, la temperatura máxima del agua superficial es 6°C, con una salinidad de 32.8-33.2‰ (Alvarez-Borrego *et al.*, 1972), y durante el invierno la mitad norte de este mar se congela. Durante el período de estancia de la ballena gris en Ojo de Liebre (finales de noviembre-marzo), el mayor intervalo de variación de T°C fue de 13.5°C a 19°C.

La batimetría afecta la distribución espacial de T°C en el interior de la laguna. Las áreas someras se calientan en el día más que las aguas de los canales. Cuando la marea baja, el agua de las zonas someras se mueve hacia los canales. Los termógrafos estuvieron localizados en los canales y en reflujo marcaron temperaturas claramente mayores en el día, después de varias horas de exposición solar, mientras que en la noche o temprano en la mañana la temperatura de reflujo no fue claramente mayor que la de flujo (Fig. 6). Soto-Balderas y Alvarez-Borrego (1991) reportaron que las temperaturas superficiales medidas con termómetro de cubeta en reflujo en las bocas de los canales de inundación de marismas del Estero de Punta Banda (una laguna costera del noroeste de Baja California), en general fueron mayores que las medidas en flujo. Las diferencias diurnas entre máximas y mínimas de T°C que estos autores reportaron fueron de 3 hasta más de 8°C, comparadas con diferencias máximas de hasta 2°C en nuestro caso. Nuestros termógrafos midieron la temperatura a varios metros de profundidad por lo que no se detectó en su máxima expresión esta diferencia entre temperaturas de flujo y reflujo, ya que el agua más caliente tiende a quedarse en la superficie, aunque una cierta proporción se mezcla hacia el fondo por la turbulencia de las corrientes de marea. En algunos casos se aprecia que aun cuando el flujo ya tiene aproximadamente una o dos horas de haber comenzado, la temperatura ha seguido subiendo (v.g. entre las 15 y las 16 horas del 2 de abril; Fig. 6). Esto se debe a que el agua que empieza a fluir en la localización del termógrafo es agua del canal con origen reciente en la zona somera de los bajos.

Las variaciones de período intermedio, una a dos semanas, son causadas por fenómenos que afectan toda la laguna de una manera similar. Ejemplos de estos fenómenos son: (a) la secuencia de eventos de surgencia

ebb flow, water from the shallow areas moves to the channels. The thermographs were installed in the channels, and they recorded higher temperatures during the day with ebb flow, after several hours of exposure to solar radiation. At night, or early morning, the temperature of ebbing water was not clearly higher than that of flood flow (Fig. 6). Soto-Balderas and Alvarez-Borrego (1991) reported that surface T°C's, measured with a bucket thermometer, of water ebbing at the mouths of salt marsh inundation channels of Estero de Punta Banda (a coastal lagoon of northwestern Baja California), were in general greater than those of flood flow. Differences between diurnal T°C maxima and minima reported by these authors were from 3 to more than 8°C, compared with our maximum difference of 2°C. Our thermographs recorded T°C at several meters depth and did not record the maximum difference between ebbing and flooding waters, because warmer water tends to stay at the surface, although a certain proportion of this warmer water is mixed and carried to the bottom due to turbulence produced by tidal currents. In some cases, T°C continues rising even when flood flow had begun one or two hours before (i.e. between 15:00 and 16:00 hours on April 2; Fig. 6). This is because some of the first flooding water in the channels (passing by the thermograph) has recent origin in the shallow areas or mudflats.

T°C variations of intermediate period, one to two weeks, are caused by phenomena that affect all the lagoon in a similar manner. Examples of these phenomena are: (a) the sequence of upwelling events in spring and summer, (b) a sequence of clear and warm days followed by overcast days with strong winds, and (c) the incidence of storms. T°C changes of long period are produced by the seasonal cycle of solar irradiance and atmospheric temperature. The effect of these phenomena are more intense in the internal extreme of the lagoon (location C) due to the greater residence time of its waters with respect to those of locations near the mouth (A and B).

T°C did not show clear differences from location to location in the channels, at depths of about 4 to 8 m. However, in August and September T°C increased from the mouth to the interior of the lagoon, with some 2°C more

en primavera y verano, (b) una secuencia de días claros y cálidos seguidos de días nublados y con vientos fuertes, y (c) la incidencia de tormentas. Los cambios de período largo son producidos por la secuencia estacional de irradiación solar y temperatura atmosférica, y su efecto se aprecia más en el interior de la laguna (punto C) por el mayor tiempo de residencia del agua con respecto a la de los puntos cercanos a la boca (A y B).

La temperatura no mostró diferencias claras de localización a localización en los canales, en profundidades de alrededor de 4 a 8 m. Sin embargo, en agosto y septiembre, fue hasta unos 2°C mayor en el punto C que en los otros puntos. La variación de T°C en una cierta localización de la laguna se relaciona con los cambios del tiempo de residencia del agua para esa localidad, y la ganancia de calor por irradiación solar que ello implica, además de otros factores. Si la localización es cercana a la boca se esperaría una mayor renovación con el agua de Bahía Vizcaíno y por lo tanto menores temperaturas, que en localizaciones internas alejadas de la boca. De acuerdo con nuestros datos, lo anterior sólo se apreció un poco en agosto y septiembre, a las profundidades de los termógrafos. Esto implica que las aguas de los canales en las localizaciones de nuestros termógrafos tienen tiempos de residencia muy similares.

Los tiempos de residencia no se pueden estimar sólo con los datos de temperatura. Los tiempos de residencia promedio para toda la laguna dependen no solamente de su geometría, la amplitud de marea y la secuencia de mareas vivas y muertas, sino también de la dinámica de Bahía Vizcaíno. Cuando la marea baja, el agua que sale de la laguna forma una lengua frente a su boca. Si el circuito de circulación de Vizcaíno es débil, al subir la marea la mayor parte del agua de la lengua vuelve a entrar a la laguna, implicando un alto tiempo de residencia del agua en el interior. Por el contrario, si la circulación de Bahía Vizcaíno es fuerte, esta lengua se mueve alejándose de la boca de la laguna y cuando la marea sube entra a la laguna una alta proporción de agua "nueva" de Bahía Vizcaíno, renovando el agua del interior y causando bajos tiempos de residencia. Los más bajos tiempos de residencia en la laguna se producen con una combinación de mareas vivas y una fuerte circulación en Vizcaíno. Sin embargo,

at location C than at the other locations. The variations of T°C at a certain location of the lagoon depend on the water residence time for that location, and the gain of heat by solar radiation that it implies. If the location is near the lagoon's mouth, we would expect a greater water exchange with Vizcaíno Bay, thus lower T°C's than at internal locations far from the mouth. According to our data, this was only so during August and September, at the depths of the thermographs. This implies that waters in the channels, at the locations of our thermographs, have very similar residence times.

Water residence times cannot be estimated only with the temperature data. Average water residence times for the whole lagoon depend not only on its geometry, tidal amplitude and the sequence of neap and spring tides, but also on the dynamics of Vizcaíno Bay. With ebb flow, water coming out from the lagoon forms a plume off its mouth. If circulation in Vizcaíno's eddy is weak, with flood flow most of the plume comes back into the lagoon, and this causes a high residence time of water inside the lagoon. On the contrary, if circulation in Vizcaíno's eddy is strong, the plume is transported away from the mouth, and with flood flow a high proportion of "new" water enters into the lagoon causing low residence times inside. The lowest residence times in the lagoon are a product of the combination of spring tides and a strong circulation in Vizcaíno. However, there may be low residence times in the lagoon with a strong circulation in Vizcaíno Bay even with neap tides. Furthermore, the strong circulation in Vizcaíno is possibly associated with upwelling intensification events, due to their relation to strong winds, and this would cause even lower T°C's in those "new" waters entering the lagoon from the bay.

The presence inside the lagoon of waters from a strong upwelling event in August is clearly shown in the thermograms from A and C, and less clearly in the one from B. Data from A are enough to document the complete sequence of the event. Approximately on August 11, upwelled water started to arrive at Ojo de Liebre's mouth and to enter the lagoon with the tidal currents. At location A, the presence of upwelled waters decreased the temperature about 4°C, in seven days. Both thermograms, from locations A and C, show

puede haber relativamente bajos tiempos de residencia en la laguna con una fuerte circulación en Bahía Vizcaíno aun con mareas muertas. Además, la circulación fuerte en Vizcaíno posiblemente está asociada con eventos de intensificación de surgencia, por su relación con los vientos, lo cual causaría temperaturas aun menores en esas aguas "nuevas" de la bahía que entran a la laguna.

El impacto de la entrada a la laguna de aguas de un evento de intensificación de surgencia en agosto, se muestra claramente en los termogramas de A y C y un poco en el del B. Para el punto A se cuenta con suficientes datos para observar la secuencia completa del evento. Aproximadamente el 11 de agosto comenzó a arribar el agua de surgencia a la región de la boca de Ojo de Liebre y a difundirse por corrientes de marea a todo su interior. En el punto A, la presencia de aguas de surgencia bajó la temperatura en unos 4°C a lo largo de siete días. En ambos puntos, A y C, se observa que la surgencia empezó a relajarse el 18 de agosto. Del 18 de agosto en adelante, Bahía Vizcaíno intercambió agua más caliente con la laguna hasta alcanzar una situación "normal" de verano alrededor del 3 de septiembre. Es interesante hacer notar que si sobreponemos los termogramas de los puntos A y C, del 17 de agosto a los primeros días de septiembre coinciden grandemente, sobre todo en su razón de cambio de temperatura de día a día, aunque las temperaturas del punto C son unos dos grados mayores. Esto indica que el transporte de las aguas de Bahía Vizcaíno al interior de Ojo de Liebre tiene un efecto prácticamente simultáneo en la temperatura de toda la laguna, quizá con diferencia de sólo unas pocas horas.

Se detectaron otros eventos de intensificación de surgencia entre el 3 y el 15 de septiembre (puntos A y C) y en abril y mayo (puntos B y C). A la altura del 20 de abril y del 13 y 19 de mayo, las temperaturas mínimas de los puntos B y C fueron del orden de 16.5°C. Los eventos de abril y mayo no parecen tan pronunciados como los de agosto y septiembre porque el agua del interior de la laguna todavía no estaba "normalmente" muy caliente y el efecto de renovación del agua no es muy marcado.

Alvarez-Borrego y Alvarez-Borrego (1982) reportaron aguas de surgencia en Bahía San Quintín, en verano, con temperaturas tan

that the upwelling event began to relax on August 18. After August 18, Vizcaíno Bay exchanged warmer water with the lagoon until reaching a "normal" summer situation around September 3. It is interesting to see that if we superimpose the thermograms from A and C, they greatly coincide from August 17 throughout the beginning of September, mainly in the T°C rate of change from day to day, although T°C's from C are about 2°C higher than those from A. This indicates that transport of water from Vizcaíno Bay to the internal extreme of the lagoon has practically a simultaneous effect on the temperature of the whole lagoon, possibly with a difference of only a few hours.

Other upwelling events were detected on September 3-15 (locations A and C), and in April and May (locations B and C). On April 20 and on May 13 and 19, minimum T°C's at locations B and C were as low as 16.5°C. The April and May upwelling events do not seem to be as pronounced as those of August and September, because water in the interior of the lagoon was not yet "normally" very warm and the effect of water renewal was not as clear.

Alvarez-Borrego and Alvarez-Borrego (1982) reported that upwelled waters in San Quintín Bay, in summer, had temperatures as low as 11°C. In our case, lowest temperatures of upwelled waters in summer were 18.5°C. These higher T°C minima in Ojo de Liebre are due to upwelled waters coming up only from relatively shallow depths in Vizcaíno Bay, near the lagoon's mouth.

Due to the entrance of upwelled waters to the interior of Ojo de Liebre, the lagoon has a great potential for organic primary and secondary productivity. The waters of Vizcaíno Bay, which are exchanged with those of Ojo de Liebre, have been characterized as very rich organically, and these are waters were spawning of species like sardine (*Sardinops caerulea*) occurs throughout the whole year (Ahlstrom, 1954).

The years 1985 and 1986 did not have an El Niño - Southern Oscillation (ENSO) event. During the strong 1982-1984 ENSO event, the California Current surface waters had positive anomalies as high as 3°C (Mantilla, personal communication, Scripps Institution of Oceanography). Silva-Cota and Alvarez-Borrego (1988) reported minimum sea surface temperatures up to 5°C higher for

bajas como 11°C. En nuestro caso la temperatura más baja de aguas de surgencia de verano fue 18.5°C, debido a que en la región de Vizcaíno cercana a la boca de Ojo de Liebre el fenómeno de surgencia acarrea agua de zonas de relativamente baja profundidad.

Por la entrada de aguas de surgencia a Ojo de Liebre, se puede inferir que la laguna tiene un alto potencial de productividad orgánica primaria y secundaria. Las aguas de Bahía Vizcaíno, que se intercambian con las de Ojo de Liebre, han sido registradas como de una gran riqueza orgánica y donde a través de todo el año ocurren desoves de especies como sardina (*Sardinops caerulea*) (Ahlstrom, 1954).

Los años 1985 y 1986 no tuvieron un evento de El Niño - Oscilación del Sur (ENSO). Durante el fuerte evento ENSO de 1982-1984, las aguas de la Corriente de California tuvieron anomalías positivas de temperatura superficial tan elevadas como 3°C (Mantila, comunicación personal, Institución Scripps de Oceanografía). Silva-Cota y Alvarez-Borrogo (1988) reportaron temperaturas superficiales mínimas hasta 5°C más altas para verano de 1984, en la boca de Bahía San Quintín (una zona con fuerte efecto de surgencias costeras en el noroeste de Baja California), que para los veranos de 1977 y 1979, años sin eventos ENSO. Estas relativamente altas temperaturas mínimas fueron interpretadas como el resultado del enmascaramiento de las surgencias por el efecto del evento ENSO. Posiblemente, en los años con eventos ENSO las temperaturas de Ojo de Liebre podrían ser hasta 4°C más elevadas que lo que muestran nuestras series de tiempo, sobre todo en verano.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a las siguientes personas e instituciones por su colaboración en el trabajo de campo: del CET del Mar, al director Antonio Avilés Rocha, a José Angel Sánchez Pacheco, José Luis Peña M. y Pedro Aguilar; de la Preparatoria "Benito Juárez" de Ensenada, Marco Antonio Mejía Cisneros; de la Exportadora de Sal, S.A., María Elena Peregrino y Abraham Nájera; y la Cooperativa Manuel Gómez Zeta. Agradecemos a Oscar Delgado González sus críticas constructivas como árbitro de este trabajo; sus comentarios nos ayudaron a mejorarlo significativamente.

summer of 1984 than for the summers of 1977 and 1979, years without ENSO events, for the mouth of San Quintín Bay (an area in northwestern Baja California strongly influenced by upwelling events). These relatively high minimum temperatures were interpreted as the result of masking of upwelling by the effect of the ENSO event. Possibly, during years with ENSO events, T°C's of Ojo de Liebre might be up to 4°C higher than those shown in our time series.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank the following people and acknowledge the following institutions for their support during the field work: Antonio Avilés-Rocha, Director of CET del Mar at Guerrero Negro; José Angel Sánchez-Pacheco, José Luis Peña and Pedro Aguilar, also from CET del Mar; Marco Antonio Mejía-Cisneros, from Preparatory School "Benito Juárez" of Ensenada; María Elena Peregrino and Abraham Nájera, from Exportadora de Sal, S.A.; and the Cooperative Manuel Gómez-Zeta. We thank Oscar Delgado González for his constructive criticisms as referee of this paper; his comments were of great help to significantly improve it.

English translation by the authors.

LITERATURA CITADA

- Ahlstrom, E.H. (1954). Distribution and abundance of eggs and larval populations of the Pacific sardine. U.S. Fish and Wild. Serv., Fish. Bull., 56(93): 84-140.
- Alvarez-Borrogo, S. (1972). Surgencias en las aguas cercanas a la Isla de Cedros. Calafia, 2(1): 24-27.
- Alvarez-Borrogo, J. and Alvarez-Borrogo, S. (1982). Temporal and spatial variability of temperature in two coastal lagoons. CalCOFI Rep., 23: 188-197.
- Alvarez-Borrogo, S., Gordon, L.I., Jones, L.B., Park, P.K. and Pytkowics, R.M. (1972). Oxygen-carbon dioxide-nutrients relationships in the southeastern region of the Bering Sea. J. Oceanogr. Soc. Japan, 28: 71-93.

- Contribución 1057 de la Institución Scripps de Oceanografía (1958). Estudio presentado por escrito al Primer Congreso de Historia Regional (en español). Institución Scripps de Oceanografía, Univ. de California en San Diego, La Jolla, Cal., pp. 997-1031.
- CICESE (1991). Tablas de marea, Baja California. Reporte del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B.C., Ensenada, Baja California, México, 201 pp.
- Dirección General de Oceanografía de la Secretaría de Marina e Instituto de Geofísica de la UNAM (1984). Calendario gráfico de mareas, predicción para Ensenada, B.C., y Guerrero Negro, B.C.S., 24 pp.
- Fleischer, L. and Beddington, J. (1985). Seasonal abundance, reproduction and early mortality rates of gray whales (*Eschrichtius robustus*) in Mexican waters, 1980-1985. Paper SC/37/ps22. Presented to the International Whaling Commission, Scientific Committee, 19 pp.
- Maravilla Chávez, O. (en prensa). La ballena gris de California (*Eschrichtius robustus*). En: L. Arriaga y A. Ortega (eds.), La Reserva de la Biósfera "El Vizcaíno". Publicación Especial del Centro de Investigaciones Biológicas de La Paz, A.C., Núm. 2. La Paz, Baja California Sur, México.
- Salinas Zavala, C.A., Coria Benet, R. y Díaz Rivera, E. (en prensa). Climatología y meteorología. En: L. Arriaga y A. Ortega (eds.), La Reserva de la Biósfera "El Vizcaíno". Publicación Especial del Centro de Investigaciones Biológicas de La Paz, A.C., Núm. 2. La Paz, Baja California Sur, México.
- Silva-Cota, S. y Alvarez-Borrego, S. (1988). The "El Niño" effect on the phytoplankton of a north-western Baja California coastal lagoon. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 27: 109-115.
- Soto Balderas, M.G.L. y Alvarez Borrego, S. (1991). Nutrientes inorgánicos en los canales de inundación de las marismas de una laguna costera del noroeste de Baja California. Ciencias Marinas, 17(3): 1-20.
- Wyllie, J. (1961). The water masses of Sebastián Vizcaíno Bay. CalCOFI Rep., 8: 83-94.