

## CARACTERIZACIÓN DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR Y CLIMATOLOGÍA DE LA BAHÍA DE LA PAZ, B.C.S., MÉXICO

Guillermo Martínez Flores <sup>1</sup>, Rafael Cervantes Duarte <sup>1</sup> & Eduardo González Rodríguez <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, Av. Instituto Politécnico Nacional S/N, Col. Playa Palo de Santa Rita, C.P. 23096, La Paz, B.C.S., Tel. (612)122-5366, Fax (612)122-5322, email: gmflores@ipn.mx, rcervan@ipn.mx. <sup>2</sup> Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Unidad La Paz, Miraflores # 334, Fraccionamiento Bella Vista, C.P. 23050, La Paz, B.C.S., Tel. y Fax (612)121-3031, email: egonzale@cicese.mx

**RESUMEN.** Se analizaron 4175 imágenes diarias captadas con el sensor NOAA/AVHRR de julio de 1997 a diciembre de 2004, con el propósito de caracterizar la climatología y variación interanual de TSM en la Bahía de La Paz. A partir de la información se generaron 88 meses de anomalías de TSM y se realizó un análisis de componentes principales (CP). Se obtuvieron tres componentes que explican en su conjunto el 50.32% de la varianza total de los datos originales de anomalías (32.68%, 11.95% y 5.69% respectivamente). El CP1 presenta los valores de correlación más altos al noroeste de la bahía, con un gradiente decreciendo hacia el sureste. Este componente tiene una alta correlación espacial con la batimetría de la bahía, y temporal con respecto a los meses cálidos. Los valores más altos del CP2 se sitúan en el centro de la bahía, decreciendo hacia el noroeste y sureste. Este patrón espacial se ubica en la zona en la que se ha detectado un gran giro ciclónico, por lo que atribuimos a este componente la influencia de tal efecto de circulación. El CP3 sitúa su más alta correlación a lo largo de la costa oeste de la bahía, zona fuertemente influenciada por la corriente litoral a lo largo de la costa. Las fluctuaciones en la TSM en la zona y el período de estudio, no presentaron una correlación significativa con respecto al Índice Oscilación Sur y el Índice El Niño Oscilación Sur, probablemente debido a que la Bahía de La Paz tenga rasgos batimétricos y oceanográficos que determinan una respuesta peculiar a los cambios ambientales.

**Palabras clave:** Temperatura superficial del mar, componentes principales, climatología, Bahía de La Paz.

### Characterization of the sea surface temperature and climatology of the Bay of La Paz, B.C.S., Mexico

**ABSTRACT.** 4175 daily NOAA/AVHRR sea surface temperature (SST) images from July of 1997 to December of 2004 were analyzed, in order to characterize the climatology and interannual variation of SST in the Bay of La Paz. From this information, 88 months of SST anomalies were estimated and principal components (PC) analysis was performed. Three components were obtained that explain as a whole the 50.32% of the total variance of the original data of anomalies (32.68%, 11.95% and 5.69% respectively). PC1 displays the higher values of correlation to the northwest of the bay, with a gradient decreasing towards the southeast. This component has a high spatial correlation with the bathymetry of the bay, and temporal to the warm months. The highest values of PC2 are located in center of the bay, decreasing towards the northwest and southeast. This spatial pattern is located in the zone where a large cyclonic eddy has been detected. For this reason we attributed this component the influence of such circulation effect. PC3 higher correlation lies throughout the west coast of the bay, a zone strongly influenced by the longshore current. The SST fluctuations in the zone and the period of study did not display a significant correlation with respect to the Southern Oscillation Index or El Niño Southern Oscillation, probably because the Bay of La Paz is an area with bathymetric and oceanographic characteristics that determine a peculiar response to environmental changes.

**Key words:** Sea surface temperature, principal components, climatology, Bay of La Paz.

Martínez-Flores, G., R. Cervantes-Duarte & E. González-Rodríguez. 2006. Caracterización de la temperatura superficial del mar y climatología de la Bahía de La Paz, B.C.S., México. *CICIMAR Oceánides*, 21(1,2):81-91.

## INTRODUCCION

La Bahía de La Paz, es el cuerpo de agua costero más extenso y más profundo del Golfo de California. Su alta productividad biológica, sus características hidrográficas y topográficas lo distinguen de la zona oceánica adyacente, confiriéndole un régimen oceanográfico propio e importante para su estudio. La hidrografía de la bahía ha sido abordada por algunos autores (Jiménez-Illescas *et al.*, 1997; Monreal-Gómez *et al.*, 2001; Obeso-Nieblas, 2003; Salinas-González *et al.*, 2003, entre otros), aunque aún faltan estudios sistemáticos que describan el patrón estacional de sus principales características oceanográficas. De acuerdo con Jiménez-Illescas (1996), la distribución espacial y temporal de temperatura, salinidad y densidad superficiales en la bahía son muy homogéneas. El ciclo anual de la temperatura superficial del mar (TSM) en la cuenca de La Paz presenta dos estaciones bien definidas relacionadas con el patrón estacional de vientos. Durante invierno-primavera, los menores niveles de insolación junto con la influencia de los vientos del noroeste son los causantes del enfriamiento de las aguas superficiales hasta alcanzar sus mínimos anuales (21 °C - 24 °C), mientras que las TSM más elevadas (27 °C - 31 °C) se registran durante verano-otoño, cuando la insolación es mayor y vientos más débiles del sureste, acarrear por advección aguas cálidas del trópico hacia el golfo (Bernal *et al.*, 2001). Una temperatura de 25 °C puede considerarse el punto medio entre ambas condiciones. Las fluctuaciones diurnas de las TSM presentan diferencias por la época del año; en los meses más fríos las diferencias son de aproximadamente 1 °C, mientras que en el período cálido son de hasta 2 °C. Los datos de salinidad son menos abundantes en la zona. Obeso-Nieblas *et al.* (2004) reportan para el verano (julio de 1996) que la distribución de salinidad superficial varió de 35.1 a 35.4, con una zona de salinidades de 35.6 en los límites con la laguna somera, la cual presenta una alta tasa de evaporación. En julio de 1997, la distribución de salinidad fue más homogénea y un poco mayor que el año anterior, con valores entre 35.5 y 35.6. En el período de invierno (marzo de 1997), los mismos autores reportan que la distribución de salinidad fue

aproximadamente uniforme, con un pequeño incremento a lo largo de la costa peninsular con valores entre 35.4 y 35.6. Esta condición contrasta con la de marzo de 1998, cuando la bahía se encontraba homogénea con salinidades alrededor de 35.0. La circulación en la bahía ha sido estudiada por diversos autores. Así, Jiménez-Illescas *et al.* (1997) y Obeso-Nieblas *et al.* (2002), proponen que la circulación superficial está influenciada por los vientos del sureste durante el verano y por los vientos del noroeste en el invierno, de manera que los vientos del norte inducen a un giro ciclónico y los vientos del sur a un giro anticiclónico en la bahía. Por otra parte, Salinas-González (2000) a partir del análisis hidrológico e hidrodinámico propone la existencia de dos giros anticiclónicos, uno al centro y otro pequeño al sur de la bahía. De acuerdo con Bernal *et al.* (2001) el ciclo anual del nivel del mar está en fase con el de la TSM, de tal manera que durante los meses más fríos de invierno y primavera las anomalías son negativas, mientras que durante el período más cálido (verano e inicios del otoño) éstas son positivas. Tanto el máximo como el mínimo de las anomalías del nivel del mar (ANM) se alcanzan un mes después que el máximo y mínimo de la TSM. Los cambios anuales en el nivel del mar están relacionados con cambios en la temperatura y salinidad de la columna de agua, forzados local y remotamente por el Océano Pacífico, a través de la boca del Golfo de California (Ripa, 1990, 1997; Beier, 1997; Lavín *et al.*, 1997).

Al comparar el ciclo anual de la TSM y la precipitación, Bernal *et al.* (2001) observaron que las lluvias de verano ocurren principalmente cuando la TSM sobrepasa los 28 °C, lo que indica aportes por actividad convectiva local. Asimismo, notaron que las lluvias de verano son las que presentan la mayor variabilidad en el ciclo anual, debido al efecto de las tormentas asociadas con huracanes, que durante el verano regularmente afectan la punta de la Península de Baja California. El principal período de lluvias ocurre durante los meses de agosto y septiembre. Las lluvias de invierno, de mucha menor importancia que las de verano (menos del 15% de la lluvia anual), ocurren principalmente en diciembre y enero, y responden a las condiciones climáticas del

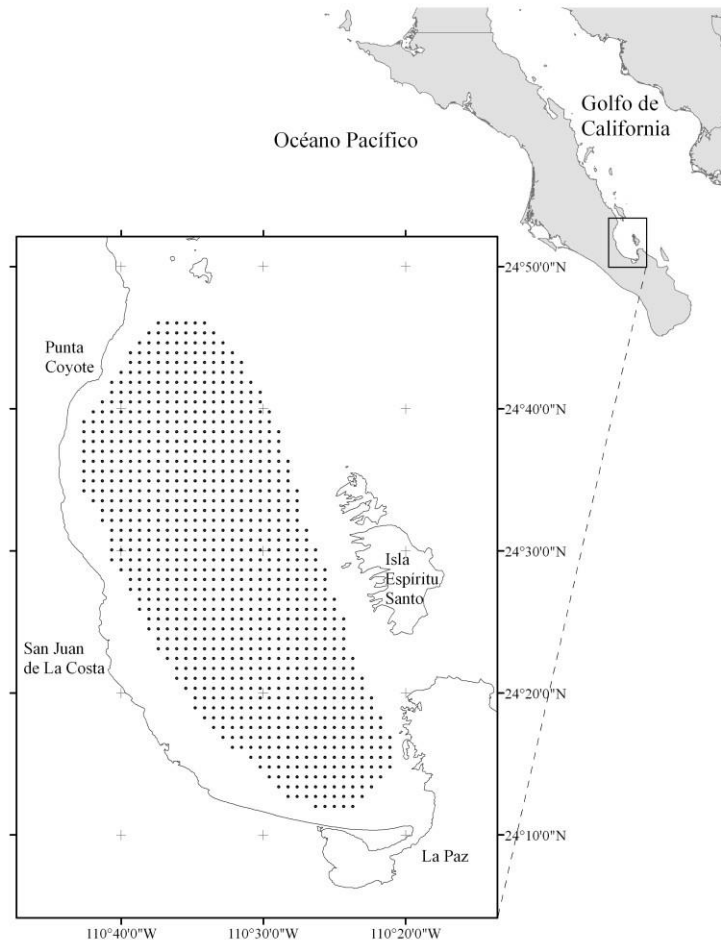
Pacífico Norte durante esta estación (Salinas-Zavala *et al.*, 1990). En la escala interanual, la variación más importante que se ha detectado en el Golfo de California es causada por el fenómeno El Niño. Baumgartner & Christensen (1985), a partir de observaciones del nivel del mar y anomalías de temperatura del golfo, concluyeron que las ocurrencias de fluctuaciones no estacionales en el nivel del mar se asocian con el episodio de El Niño-Oscilación Austral (ENOA), señalando que la principal fuente de tal variabilidad es la intensificación del giro norecuatorial que se presenta durante tales eventos. El evento ENOA 1982-1983 provocó una mayor advección de agua ecuatorial hacia el interior del golfo en marzo de 1983, penetrando hasta la cuenca de Guaymas (Robles & Marinone, 1987; Bray 1988; Torres-Orozco, 1993). La variabilidad interanual de la TSM en la bahía presenta de manera consistente un techo en sus valores máximos durante los veranos alrededor de los 31 °C, mientras que las temperaturas de invierno muestran una mayor variabilidad (Bernal *et al.*, 2001). Una de las implicaciones de esta diferencia en la variabilidad estacional es que los cambios climáticos interanuales se manifiestan principalmente en las TSM de invierno, como parece ocurrir en el resto del Pacífico Nororiental (Emery & Hamilton, 1985; McGowan *et al.*, 1998). De acuerdo con Bernal *et al.* (2001) el promedio de las anomalías mensuales de TSM entre 1950 y 1976 es de +0.26 °C, mientras que entre 1977 y 1990 es de -0.15 °C, indicativo de condiciones relativamente más frías a partir de 1977. A pesar de que después de El Niño 1982-1983 las anomalías también alcanzaron valores positivos, la disminución de temperatura durante la transición es muy marcada y las amplitudes de las anomalías positivas son mayores antes de la transición que después de ésta. Durante el período de 1950 a 1976, los vientos de invierno mostraron anomalías negativas, es decir, que disminuyen su intensidad, y las TSM muestran un calentamiento relativo, caracterizado por anomalías positivas. Sin embargo, para el período posterior a 1976-1977 esta relación invierte su signo de manera que las anomalías anuales de TSM y el viento van en el mismo sentido. Esto es, un comportamiento paradójico ya que éstas deberían disminuir en res-

puesta a la intensificación de los vientos (Bernal *et al.*, 2001). En cuanto al nivel medio del mar, en el período posterior a 1977 hay oscilaciones extremas marcadas por la anomalía positiva de El Niño de 1982-1983 y una gran anomalía negativa de La Niña de 1989 sobre el Golfo de California (Bernal *et al.*, 2001). Los patrones de precipitación en la región de La Paz están dominados por las lluvias de verano. En general los eventos El Niño se encuentran asociados a una anomalía anual positiva en la precipitación, mientras que los años de La Niña se asocian con anomalías negativas (Bernal *et al.*, 2001).

Las imágenes infrarrojas obtenidas de satélites son una poderosa herramienta en el estudio de procesos oceánicos en las capas superficiales, debido principalmente a que la información está uniformemente distribuida tanto espacial como temporalmente. La TSM obtenida de las imágenes de satélite provee un diagnóstico de procesos dinámicos subsuperficiales. Las variaciones en la TSM pueden ser correlacionadas con cambios a través de la capa superior, y a su vez, pueden ser relacionados con la variabilidad de los forzantes (Soto-Mardones *et al.*, 1999). Este trabajo tiene como objetivo dar una descripción detallada de la evolución espaciotemporal de la temperatura superficial de la Bahía de La Paz, mediante el uso de una serie de 88 meses de imágenes de satélite.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Para caracterizar la TSM de la Bahía de La Paz, B. C. S. (Fig. 1), se utilizaron 4175 imágenes NOAA/AVHRR (captadas en la Estación CICESE de La Paz), con resolución espacial de 1.1 km. Esta serie de imágenes diarias (en algunos casos dos por día) corresponde al período de julio de 1997 a diciembre de 2004 y fueron el resultado de un proceso de selección, en el que se excluyeron aquellas cuyo porcentaje de píxeles con valores atípicos fuese mayor al 50%. En caso contrario, estos valores se sustituyeron por la interpolación de píxeles cercanos para incluirlos en el análisis, que consistió en el cálculo de anomalías, componentes principales y estadística descriptiva de la TSM. A partir de las imágenes



**Figura 1.** Área de estudio y región para la extracción de datos de TSM de las imágenes AVHRR.

**Figure 1.** Area of study and region for SST data extraction from AVHRR images.

nes diarias se calcularon los promedios mensuales y de la diferencia de éstos con respecto a la media general de la serie, se calcularon las anomalías de TSM (ATSM). De este proceso resultaron 88 imágenes promedio mensual de las ATSM, con los que se llevó a cabo el análisis de componentes principales (CP). La finalidad del análisis de CP fue la determinación de patrones espaciales y temporales de la serie. Para la caracterización de patrones espaciales se generó un conjunto de imágenes de componentes principales estandarizados, que indican los esquemas espaciales de los elementos de variabilidad en la serie. La información temporal de este análisis consiste en gráficas de correlación entre cada componente y las imágenes originales del período de

estudio. Como información complementaria se incluyeron las fechas de huracanes y tormentas tropicales de influencia en la zona y en el período de estudio, seleccionando sus trayectorias (Base de datos Unisys Corp., 2005) en un radio de 200 km de La Bahía de La Paz. Para cada segmento dentro del radio de influencia, se calcularon los promedios de presión atmosférica (milibares) y de velocidad del viento (nudos). Adicionalmente se utilizaron promedios mensuales de dirección y velocidad del viento, captados por el satélite QuikSCAT de julio de 1999 a diciembre de 2004 en las inmediaciones de la bahía. Los datos de precipitación mensual (1997-2004) se obtuvieron de la estación meteorológica de

la Comisión Nacional del Agua y Servicio Meteorológico Nacional en la Ciudad de La Paz.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

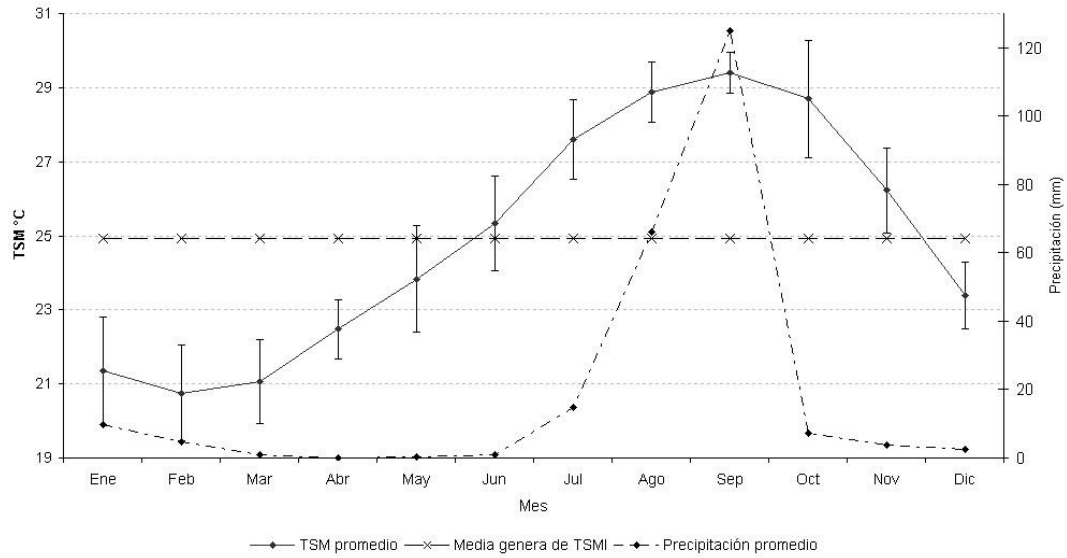
### Caracterización climatológica

**Variabilidad anual.** La variabilidad de la TSM promedio durante el ciclo anual presentó un patrón similar al reportado por otros autores (Soto-Mardones *et al.*, 1999; Bernal *et al.*, 2001), sin embargo, hay dos diferencias importantes respecto a las publicaciones mencionadas. Primera, la temperatura máxima en este estudio se registra en septiembre (30 °C) en vez de agosto (31 °C) y segunda, nuestros datos presentaron la mayor desviación estándar en octubre (3 °C), no reportada anteriormente. Los mínimos de temperatura ocurrieron de enero a marzo y los máximos de agosto a octubre. La climatología de la Bahía es tal que se enfría de octubre a febrero (~5 meses) y se calienta de marzo a septiembre (~7 meses) (Fig. 2). En el período de 1997- 2004 la precipitación promedio mensual mostró que julio, agosto y septiembre son los meses más lluviosos, 16 mm, 67 mm y 125 mm, respectivamente, aunque de octubre a febrero se presenta una mínima contribución (<10 mm) y de marzo a junio es prácticamente nula (Fig. 2). Este patrón es muy similar al reportado por Bernal *et al.* (2001). Al comparar la variación de la TSM con la precipitación, se observa que en septiembre se alcanzan los valores máximos de ambos parámetros, mientras que de marzo a junio, cuando ocurre el incremento lineal de la TSM, la precipitación es inexistente. En septiembre el incremento en la precipitación es consecuencia de la presencia de huracanes en la zona. En el período de 1997 a 2004 ocurrieron seis huracanes de los cuales cinco fueron en el mes de septiembre y uno en agosto. El ciclo anual de dirección y velocidad del viento promedio mensual en el período 1999 a 2004 (Fig. 3) muestra que los vientos noroeste son predominantes en el período de octubre a abril, con una velocidad máxima en diciembre y febrero (7.10 ms<sup>-1</sup> y 6.12 m s<sup>-1</sup>, respectivamente) y mínima en marzo y abril (4.8 ms<sup>-1</sup> y 4.59 m s<sup>-1</sup>, respectivamente). La influencia de los vientos intensos del noroeste,

junto con los menores niveles de insolación de la época provoca la disminución de la TSM, mientras que el debilitamiento de éstos induce de nueva cuenta al aumento de la TSM. Este incremento lineal de temperatura continúa durante mayo y junio, posiblemente asociado al pobre efecto de los vientos del oeste, los cuales se caracterizan por poseer la menor rapidez promedio anual. De julio a septiembre los vientos soplan del NE y especialmente en julio su menor rapidez y la alta insolación provocan la mayor tasa de incremento en la TSM. En cuanto a huracanes y tormentas tropicales con trayectorias dentro de un radio no mayor a 200 km de la Bahía de La Paz, en el período de estudio, se registraron seis: Greg (sep 1998), Isis (sep 1999), Miriam (sep 2000), Juliette (sep 2001), Ignacio (ago 2003) y Marty (sep 2003). Las velocidades promedio del viento para cada evento durante la trayectoria por el radio de 200 km, fueron de 37.1, 63.3, 25.0, 59.3 63.5 y 75.0 nudos, respectivamente.

**Variabilidad interanual.** La variabilidad interanual de la TSM en el período de estudio mostró que, en general, hay poca variación regional en la bahía, tanto latitudinal como longitudinalmente (Fig. 4). Del análisis de la serie de tiempo, se observó la marcada alternancia de los períodos cálidos y fríos. El año más cálido fue 1997, el efecto del calentamiento se extendió hasta noviembre y atenuó notablemente el período frío, de diciembre a mayo de 1998. De acuerdo con algunos autores el evento del ENSO, se registró en el área del Golfo de California en julio de 1997 y sus efectos continuaron hasta los primeros meses de 1998 (Obeso-Nieblas *et al.*, 2004). El año más frío fue 2001, cuyas bajas temperaturas se prolongaron hasta mayo y el período cálido fue considerablemente más corto. Dos años que por sus características no presentaron fuertes contrastes entre los períodos cálidos y fríos, son los años 1998 y 2003, por lo cual se propone una tercera categoría de años templados.

**Análisis de componentes principales.** El porcentaje de varianza explicada por los primeros 3 componentes es de 32.68%, 11.95% y 5.69% respectivamente, acumulan-



**Figura 2.** Promedios mensuales de TSM (° C) y precipitación (mm) 1997 - 2004.

**Figure 2.** Monthly averages of SST (° C) and precipitation (mm) 1997 - 2004.

do el 50.32% de la varianza en las 88 imágenes de ATSM mensual promedio. La Fig. 5 muestra las distribuciones espaciales y temporales de estos componentes. Los valores corresponden a la distribución espacial de correlación con el patrón temporal en la gráfica correspondiente, mientras que la gráfica muestra la correlación del componente en el tiempo (de julio de 1997 a diciembre de 2004).

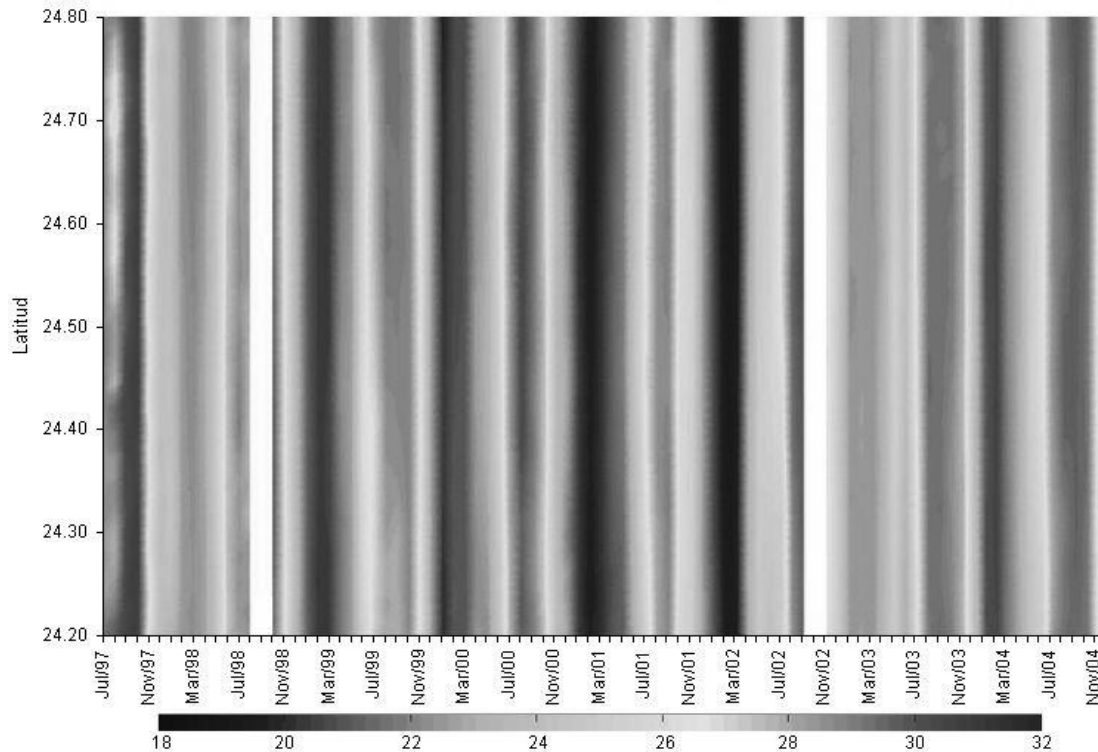
La distribución espacial de los tres componentes principales de las ATSM está aso-

ciada primordialmente a la batimetría de la bahía, así como a patrones de circulación superficial. La distribución espacial del CP1 presenta un gradiente con las correlaciones más altas situadas al noroeste de la bahía, decreciendo gradualmente hacia el sureste, porción en la que alcanza sus valores más bajos (Fig. 5a). La gráfica temporal de este componente muestra una correlación muy alta con los meses cálidos, excepto en los veranos de 1997 y 1998, cuando el índice SOI se encuentra en fase negativa (con los valores más bajos del

m/s	5.88	6.12	4.8	4.59	4.16	3.66	4.8	5.06	5.53	4.66	5.83	7.1
mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic

**Figura 3.** Promedios mensuales de la velocidad del viento ( $m s^{-1}$ ). Datos QuikSCAT (1999 - 2004) del área circundante a La Bahía de La Paz, B. C. S.

**Figure 3.** Monthly averages of wind speed ( $m s^{-1}$ ). QuikSCAT data (1999 - 2004) of the surrounding area of the Bay of La Paz, B. C. S.



**Figura 4.** Variación latitudinal interanual de TSM en La Bahía de La Paz (julio 1997 - diciembre 2004).

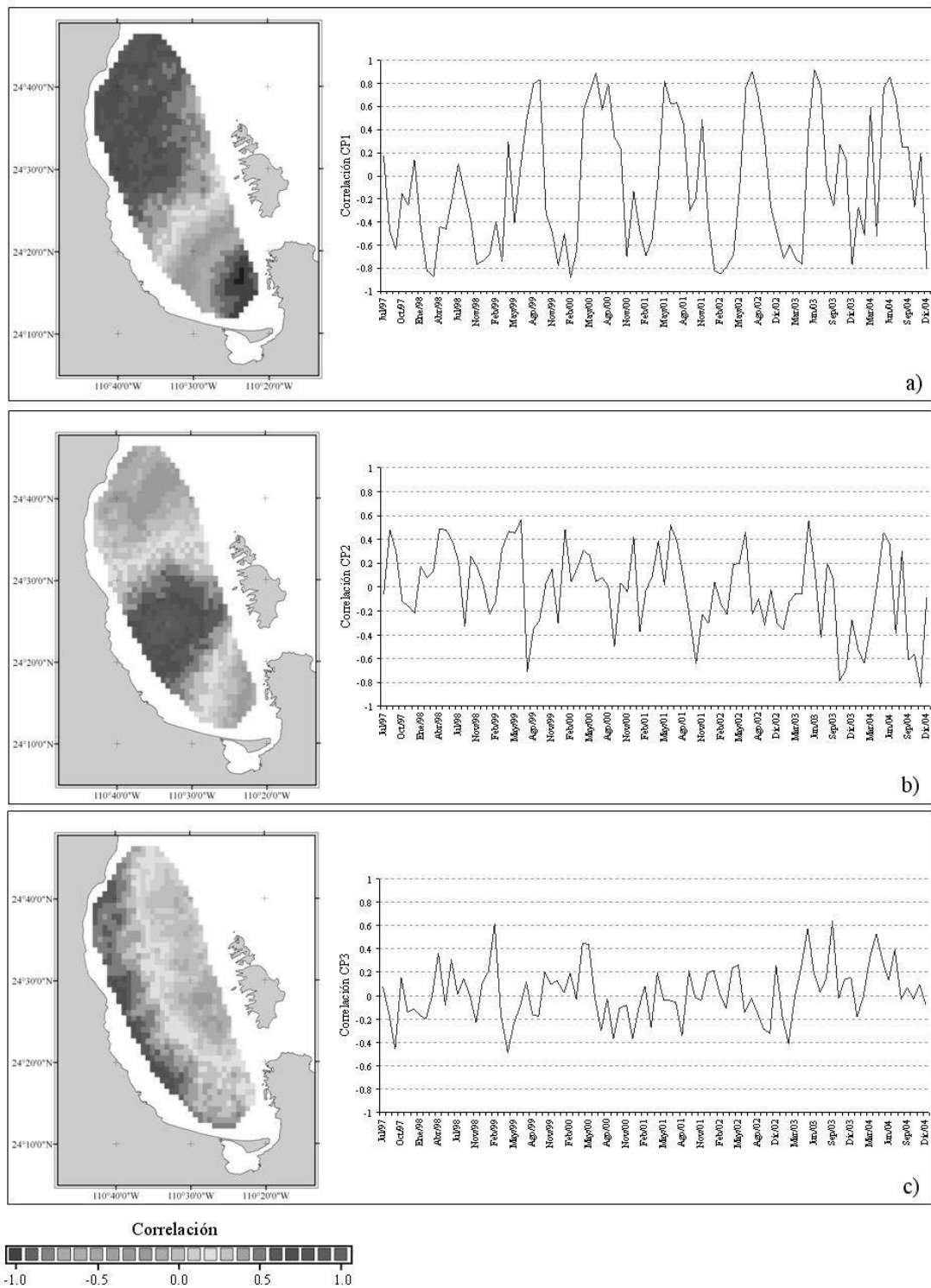
**Figure 4.** Interannual latitudinal variation of SST in the Bay of La Paz (July 1997 - December 2004).

índice en el período), y una correlación negativa en los meses fríos. Por lo anterior inferimos que este componente es representativo de las condiciones de verano en la porción norte y central del área de estudio. Esta distribución de correlaciones también guarda una estrecha relación con la batimetría de la bahía. La región sur es somera y dinámica como consecuencia de la interacción de flujo y refluo con la Laguna de La Paz y con el Canal San Lorenzo. Los valores del CP1 en esta región son marcadamente bajos, como consecuencia de la alta variabilidad en esta zona. Los componentes 2 y 3 son menos conspicuos en su correlación temporal con la serie. La distribución espacial del CP2 presenta los valores más altos al centro de la bahía (Fig. 5b) decreciendo gradualmente hacia el noroeste y al sureste. Esta distribución corresponde con la zona en la que se presenta un giro relativamente grande, mismo que ha sido descrito por varios autores (Godínez-Orta *et al.*, 2003; Obeso-Nieblas, 1986; Salinas-González, 2000), utilizan-

do métodos numéricos, así como tratamiento de imágenes Landsat ETM+ (Fig. 6). La correlación de este componente se interpreta como la influencia del giro en la distribución de TSM en la zona central de la bahía. El CP3 distribuye sus valores de correlación más altos en una franja cercana a la costa oeste de la bahía, hasta la porción sur cercana a la barrera arenosa El Mogote (Fig. 5c). Es en esta zona en la que el efecto de la corriente litoral ejerce su mayor influencia (Nava-Sánchez & Cruz-Orozco, 1989), proceso que a la postre dió origen a la formación de esta barrera arenosa.

## CONCLUSIONES

La cobertura temporal y espacial de las imágenes incluidas en el análisis de componentes principales permitió definir patrones de distribución de TSM en la Bahía de La Paz, con una resolución adecuada para compararla con datos de circulación espacialmente re-



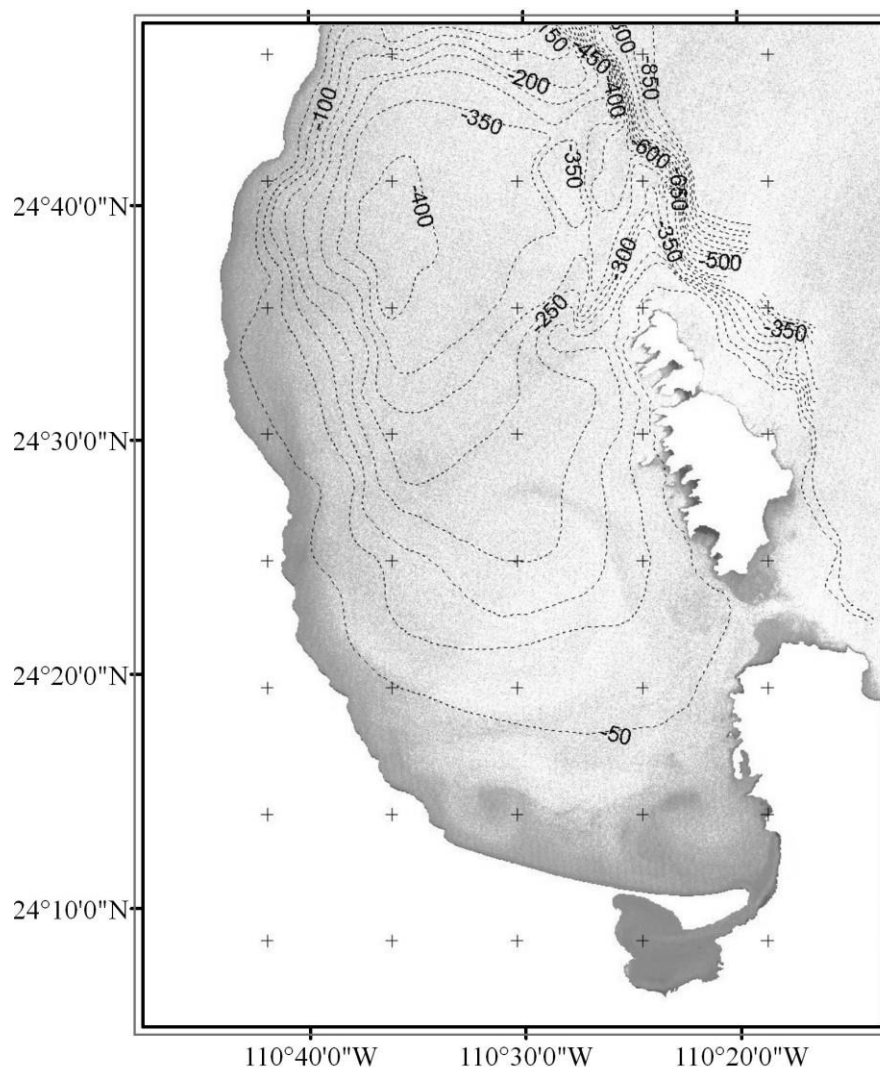
**Figura 5.** Mapas espaciales de los primeros tres componentes principales de la serie.

**Figure 5.** Spatial maps of the first three principal components of the series.



feridos que han sido obtenidos por otros autores con métodos de análisis numérico, así como con el tratamiento de imágenes de satélite de mayor resolución espacial (aunque menor resolución temporal). La distribución de los primeros tres componentes principales de la serie de ATSM en el espacio han sido asociados en este trabajo a condiciones de batimetría (CP1) y circulación, en específico el gran giro ciclónico que se presenta al centro de la Bahía de La Paz (CP2) y la corriente litoral a lo largo de la costa oeste de la bahía (CP3). En el

caso de la correlación temporal del CP1, encontramos valores altos para los meses cálidos y los más bajos en los meses fríos. Por las características batimétricas de la bahía y de su zona aledaña al Golfo de California, la mayor interacción entre ambos cuerpos de agua se da en los primeros metros de profundidad, por lo que la velocidad y dirección del viento juegan un papel muy importante en los patrones de circulación al interior de la bahía. Otro factor importante es el forzamiento inducido por los giros que se presentan en la boca del



**Figura 6.** Batimetría e índice de turbidez calculado a partir de una imagen Landsat ETM+ de diciembre de 1999 (modificado de Godínez-Orta *et al.*, 2003).

**Figure 6.** Bathymetry and turbidity index estimated from a Landsat ETM+ image from December of 1999 (modified from Godínez-Orta *et al.*, 2003).

golfo y cuya influencia ha sido reportada por otros autores. Estos y otros factores de carácter estacional son los que le confieren a La Bahía de La Paz sus características homogéneas de TSM la mayor parte del año.

### AGRADECIMIENTOS

Los datos de precipitación fueron proporcionados por la CNA-SMN Estación La Paz, los datos QuikScat son producidos por *Remote Sensing Systems* y patrocinado por NASA *Ocean Vector Winds Science Team*. Nuestro agradecimiento a estas instituciones por proporcionarnos estos insumos.

### REFERENCIAS

- Baumgartner, R.T. & N. Christensen Jr. 1985. Coupling of the Gulf of California to large-scale interannual climatic variability. *J. Mar. Res.*, 43:825-848. <https://doi.org/10.1357/002224085788453967>
- Beier, E. 1997. A numerical investigation of the annual variability in the Gulf of California. *J. Phys. Oceanogr.*, 27: 615-632. [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1997\)027<0615:ANIOTA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1997)027<0615:ANIOTA>2.0.CO;2)
- Bernal, G., Ripa, P. & Huerquera, J. C. 2001. Variabilidad oceanográfica y climática en el Bajo Golfo de California: Influencias del Trópico y Pacífico Norte. *Cienc. Mar.*, 27(4):595-617.
- Bray, N.A. 1988. Thermohaline circulation in the Gulf of California, *J. Geophys. Res.*, 93(C5):4993-5020. <https://doi.org/10.1029/JC093iC05p04993>
- Emery, W.J. & K. Hamilton. 1985. Atmospheric forcing of interannual variability in the Northeast Pacific Ocean: Connections with El Niño. *J. Geophys. Res.*, 90(C1):857-868. <https://doi.org/10.1029/JC090iC01p00857>
- Godínez Orta, L., J.D. Prado Ancona, G. Martínez Flores, J.J. Prieto Mendoza & G. Gutiérrez de Velasco Sanromán. 2003. Proyecto Paraíso del Mar, Caracterización ambiental marina. Informe final de servicio externo, *CICIMAR-IPN*, 217p.
- Jiménez Illescas, A. R. 1996. *Análisis de procesos barotrópicos y baroclínicos en la Bahía de La Paz B. C. S.* Tesis de Doctorado. *Univ. Nal. Autón. Méx.*, México, D.F., 212 p.
- Jiménez Illescas, A. R., M. Obeso N. & D. A. Salas de L. 1997. Oceanografía Física de la Bahía de La Paz, B.C.S., 31-41. *En: Urbán R. J. & M. Ramírez R. (Eds) La Bahía de La Paz, Investigaciones y Conservación. Univ. Autón. Baja Cal. Sur, Ctro. Interdiscip. Cienc. Mar., Scripp Inst. Oceanogr.*, La Paz, B.C.S., 345p.
- Lavin, M.F., E. Beier & A. Badan. 1997. Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: Escalas estacional e interanual. *En: Lavin, F. (ed.) Contribuciones a la Oceanografía Física en México. Unión Geofísica Mexicana, Monografía No. 3.*, pp 141-171.
- McGowan, J.A., D.R. Cayan & L.M. Dorman. 1998. Climate-Ocean variability and ecosystem response in the northeast Pacific. *Science*, 281:210-217. <https://doi.org/10.1126/science.281.5374.210>
- Monreal-Gómez, M. A., A. Molina-Cruz & D. A. Salas-de-León. 2001. Water masses and cyclonic circulation in Bay of La Paz, Gulf of California, during June 1998. *J. Mar. Syst.*, 50(4):305-315. [https://doi.org/10.1016/S0924-7963\(01\)00064-1](https://doi.org/10.1016/S0924-7963(01)00064-1)
- Nava-Sánchez, E.H. & R. Cruz-Orozco. 1989. Origen y evolución geomorfológica de la laguna de la Paz, Baja California Sur, México. *Inv. Mar. CICIMAR*, 4(1):49-58.
- Obeso-Nieblas, M. 1986. *Propagación de la constituyente de la marea en la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México, mediante un modelo bidimensional hidrodinámico numérico.* Tesis de Maestría, *CICIMAR-IPN*, 123 p.
- Obeso-Nieblas, M., J. Gaviño Rodríguez, R. Jiménez Illescas, G. Shirasago. 2002. Simulación numérica de la circulación por marea y viento del noroeste y sur en la Bahía de La Paz, B. C. S. *Oceánides*, 17(1):1-12.

- Obeso-Nieblas, M. 2003. *Variabilidad espacio-temporal de las condiciones oceanográficas de la Bahía de La Paz, B.C.S., México*. Tesis de Doctorado en Ciencias, CICIMAR-IPN, 337p.
- Obeso-Nieblas, M., B.G. Shirasago, V.L. Sánchez & R.J.H. Gaviño. 2004. Hydrographic variability in Bahía de La Paz, B.C.S., México, during the 1997-1998 El Niño. Deep-Sea Research Part II: Tropical Studies in Oceanography. *Oceanography of the Eastern Pacific*, II, 51:689-710.  
<https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2004.05.005>
- Ripa, P. 1990. Seasonal circulation in the Gulf of California. *Annales Geophysicae*, 8:559-564.
- Ripa, P. 1997. Towards a physical explanation of the seasonal dynamics and thermodynamics of the Gulf of California. *J. Phys. Oceanogr.*, 27:597-614.  
[https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1997\)027<0597:TAPEOT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1997)027<0597:TAPEOT>2.0.CO;2)
- Robles, J.M. & S.C. Marinone. 1987. Seasonal and interannual termohaline variability in the Guaymas basin of the Gulf of California. *Cont. Shelf Res.*, 7(7):715-733.  
[https://doi.org/10.1016/0278-4343\(87\)90013-6](https://doi.org/10.1016/0278-4343(87)90013-6)
- Salinas-González, F. 2000. *Mezcla turbulenta y transporte de masa en la Bahía y Ensenada de La Paz, B. C. S.: Experimentación y modelación numérica*. Tesis de Doctorado, CICIMAR-IPN, 260 p
- Salinas-González, F., O. Zaytsev & V. Makarov. 2003. Formación de la estructura termohalina del agua en la Bahía de La Paz de verano a otoño. *Cienc. Mar.*, 29(1):51-65.  
<https://doi.org/10.7773/cm.v29i1.134>
- Salinas-Zavala, C.A., A. Leyva-Contreras, D. Lluch-Belda & E. Díaz-Rivera (1990). Distribución geográfica y variabilidad climática de los regimenes pluviométricos en Baja California Sur, México. *Atmósfera*, 3: 217-237.
- Soto Mardones, L., S.G.L. Marinone Moschetto & A. F. Parés Sierra. 1999. Variabilidad espaciotemporal de la temperatura superficial del mar en el Golfo de California. *Cienc. Mar.*, 25(1):1-30.  
<https://doi.org/10.7773/cm.v25i1.658>
- Torres-Orozco, E. 1993. *Análisis volumétrico de las masas de agua del Golfo de California*. Tesis de Maestría. *Cent. Inv. Cient. duc. Sup.* Ensenada, México 80 p.

Copyright (c) 2006 Guillermo Martínez Flores, Rafael Cervantes Duarte & Eduardo González Rodríguez.



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](#).

Usted es libre para **Compartir** —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y **Adaptar** el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

**Atribución:** Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia - Texto completo de la licencia](#)