

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS**



**“ANÁLISIS ARMÓNICO DE DATOS DE CORRIENTES EN LA
REGIÓN NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA DE
NOVIEMBRE DE 1994 A FEBRERO DE 1996”**

**TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
O C E A N Ó L O G O
PRESENTA
ANA MARÍA RAMÍREZ MANGUILAR**

Ensenada, Baja California, Febrero del 2000.

RESUMEN

Se obtuvieron las elipses de marea de datos de corrientes mediante análisis armónico, muestreadas en 26 anclajes colocados en diferentes localidades de la región Norte del Golfo de California, durante el período de noviembre de 1994 a febrero de 1996. La amplitud del semieje mayor de las componentes semidiurnas tienden a incrementarse en zonas someras (Alto Golfo de California), mientras que en zonas profundas (Cuenca Delfín) tiende a ser menor, además de que disminuye cerca del fondo. La inclinación del semieje mayor de las componentes semidiurnas se encuentra ligeramente desviada al este del eje longitudinal del golfo. La excentricidad de las elipses de marea de las componentes semidiurnas es cercana a cero lo que hace que sean rectilíneas en zonas someras, el sentido de giro anticiclónico en ambas componentes semidiurnas se localizó en corrientímetros situados en la costa de Baja California. Existe una gran variabilidad en el sentido de giro y en la excentricidad, característica propia del modo interno. El desfase con respecto al meridiano de Greenwich de las componentes semidiurnas es del orden de horas. Las amplitudes del semieje mayor en las componentes diurnas son menores que las semidiurnas, la inclinación del semieje mayor tiende a orientarse al eje longitudinal del golfo, pero presenta mayor variabilidad en la dirección que las componentes semidiurnas, la excentricidad es en ambas componentes cercana a uno lo cual indica que las elipses de marea tienden a ser circulares predomina el sentido de giro anticiclónico. Al igual que las componentes semidiurnas existe un desfase del orden de horas. La componente cuartidiurna tiene valores menores que las componentes diurnas, la inclinación del semieje mayor no presenta un comportamiento homogéneo, el sentido de giro y la excentricidad es el mismo que las componentes diurnas, el desfase en esta componente es de ~6h. El desfase de 8 y 7 horas de las componentes semidiurnas M_2 y S_2 respectivamente, en la Región Norte del Golfo de California, es provocado por la marea baroclínica, que es el resultado del paso de la marea barotrópica sobre la zona de las islas. Las componentes diurnas K_1 y O_1 en la Región Norte del Golfo de California tienen una componente baroclínica importante que provoca un desfase de ~12 horas.

**“ANÁLISIS ARMÓNICO DE DATOS DE CORRIENTES EN LA
REGIÓN NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA DE
NOVIEMBRE DE 1994 A FEBRERO DE 1996”**

TESIS

QUE PRESENTA:

ANA MARÍA RAMÍREZ MANGULAR

APROBADA POR:



M.C. Emilio Palacios Hernández
Presidente del Jurado



Dr. Reginaldo Durazo Arvizu
Sinodal Propietario



M.C. Rubén Castro Valdez
Sinodal Propietario

DEDICATORIA

A mi madre

Ana María Manguilar O. por demostrarme lo fuerte que puede llegar a ser una mujer

A mi padre

Ricardo Ramírez F. quien con mano rígida pero un gran corazón siempre me ha apoyado en todas mis locuras

A mi hermanita

Agueda E. Ramírez M. que a pesar de ser la más pequeña es una gran mujer, gracias por todos los sacrificios hechos por mí, aquí esta el primero de los pagos.

A la memoria de una gran amiga

Margarita Solis Cardona[†], por lo que ella nunca pudo terminar y por todos esos sueños compartidos.

A mis amigas (os), por los grandes momentos.

A ese inmenso laboratorio azul.

AGRADECIMIENTOS

A mi director MC Emilio Palacios Hernández, no existen palabras para agradecer la infinita paciencia y sobre todo por confiar en mí en la elaboración de este trabajo. Además porque atrás de mi director siempre encontré un gran amigo.

A mis sinodales Dr. Reginaldo Durazo A. y MC Ruben Castro, por sus comentarios, sugerencias y sobre todo por su gran paciencia.

Al Dr. Miguel Lavín, por haberme proporcionado los datos del proyecto CONACYT 3209-T9207, por sus sugerencias, la ayuda prestada en mi estancia y por saber esperar este trabajo. Gracias por todo.

A la Facultad de Ciencias Marinas de la Universidad Autónoma de Baja California, quien me dió las bases y por mucho tiempo me cobijó en sus aulas.

Al Oc. Salvador Sánchez y M. C. Víctor Godínez por su apoyo en campo, gabinete y valiosas sugerencias.

Al Oc. Rafael Ramírez y L. C. C. Carlos Eduardo Cabrera por sus sugerencias.

Al Oc. Joaquín García por proporcionarme el programa de Foreman y la ayuda prestada en el manejo del mismo.

Al L. C. C. Roberto Soto por su asistencia en servicio de red y cómputo.

Al Oc. Juan Ignacio González, por disipar mis dudas sobre análisis armónico y mareas.

Al Dr. Emilio Beier, por todos los comentarios hechos durante la realización de este trabajo.

Al CICESE, especialmente al Departamento de Oceanografía Física, por todo el apoyo brindado durante la elaboración de este trabajo.

Existen tantas personas que han pasado cerca de mí en estos últimos años, que me han brindado su amistad y a veces tan sólo una sonrisa (el alimento del día) o una palabra de aliento, las cuales quisiera mencionar una por una, pero cada una sabe lo que significa para mí y creo que no es necesario plasmarlo en una hoja. Gracias por todos los buenos momentos y también porque no, por los tropezones, que gracias a éstos uno crece.

A mis amigas (os) y a todos aquellos que me han brindado su amistad.

A mis compañeros de generación Gaby , Elda, Miguel Angel, Fabiola, Mauricio, Mark, Francisca, Natalie, Laura, Jorge, Aarón, Angel, Ragi, Marisel y a los agregados culturales Ceci, Reina y Jorge; gracias por los buenos momentos compartidos tanto en las aulas como en las divertidas salidas de campo. Existe alguien que se separó antes de este maravilloso grupo pero no por eso deja de ser parte importante Cesar.

A mis profes consen, lo siento, pero siempre los hay: a Krass, Consuelo Valle, Rafael Walls, Adán Mejía, Regis, Ruben, Manuel Moreno, Luis Zamudio, Toño Martínez, Emilio Palacios, Dora Waumman, Felipe Correa, Javier Zavala y bueno creo que termine poniendo a todos, gracias por transmitirme sus conocimientos y por las porras durante toda la carrera.

A mis compas de la Facultad de Ciencias Marinas y del CICESE no es necesario poner una lista ya que como siempre por ahí alguien quedara descartado sin querer, cada persona sabe lo que significa para mí, creo que esto ya lo dije, pero gracias por todo y sobre todo a los que estuvieron siempre pendientes de esta última parte.

A mi familia adoptiva Zuñiga Padilla, por brindarme su apoyo incondicional y hacerme sentir realmente de la familia, siempre estarán cerca de mi corazón.

A la familia Marván Barradas, por todos los buenos momentos, no existen palabras para decirles lo que significan para mí y que siempre han estado cerca de mí cuando los necesito a pesar de la distancia.

A C.K. por su gran apoyo y paciencia.

INDICE

| | Página |
|---|--------|
| RESUMEN. | i |
| DEDICATORIA. | ii |
| AGRADECIMIENTOS. | iii |
| INDICE. | v |
| INDICE DE FIGURAS. | vii |
| INDICE DE TABLAS. | ix |
| I. INTRODUCCION. | 1 |
| I.1 Area de estudio. | 4 |
| I.2 Anclajes. | 4 |
| I.3 Objetivos. | 9 |
| I.4 Notación. | 9 |
| II. METODOLOGIA | 11 |
| II.1 Tratamiento preliminar. | 11 |
| II.2 Criterio de Rayleigh. | 11 |
| II.3 Análisis armónico. | 12 |
| III. RESULTADOS | 17 |
| III.1 Componente semidiurna M_2 . | 17 |
| III.1.1 Contornos de amplitud, inclinación, excentricidad y desfase de M_2 . | 20 |
| III.2 Componente semidiurna S_2 . | 26 |
| III.2.1 Contornos de amplitud, inclinación, excentricidad y desfase de S_2 . | 28 |

INDICE (continuación ...)

| | Página |
|--|--------|
| III.3 Componentes diurnas K_1 y O_1 . | 32 |
| III.3.1 Contornos de amplitud y desfase de K_1 y O_1 . | 35 |
| III.4 Componente cuartidiurna M_4 . | 38 |
| III.5 Efecto de la estratificación en las componentes de la marea. | 40 |
| III.5.1 Componente semidiurna M_2 . | 40 |
| III.5.2 Componente semidiurna S_2 . | 41 |
| III.5.3 Componente diurna K_1 . | 42 |
| III.5.4 Componente diurna O_1 . | 43 |
| III.5.5 Componente cuartidiurna M_4 . | 44 |
| IV. DISCUSION. | 45 |
| V. CONCLUSION. | 48 |
| VI. REFERENCIAS. | 49 |
| VII. ANEXO. | 52 |

INDICE DE FIGURAS

| Figura | | Página |
|--------|---|--------|
| 1 | Area de estudio. Región Norte del Golfo de California (RNGC). | 5 |
| 2 | Elipses de marea para la componente semidiurna M_2 (a) 0-25 m, (b) 25-50 m, (c) 50-75 m, (d) 75-100, (e) 100-150 m y (f) 150-200 m. Las elipses de color rojo representan sentido de giro ciclónico (+) y las elipses de color azul anticiclónico (-). | 18 |
| 3 | Contornos de 0 a 60 m para la componente semidiurna M_2 (a) amplitud del semieje mayor (cm s^{-1}), (b) inclinación del semieje mayor (grados azimutales), (c) excentricidad de las elipses de marea y (d) desfase (horas). Los símbolos "o" representan la posición del corrientímetro. | 22 |
| 4 | <i>Idem</i> Figura 3, para la profundidad de 60 a 150 m. | 25 |
| 5 | Elipses de marea para la componente semidiurna S_2 (a) 0-25 m, (b) 25-50 m, (c) 50-75 m, (d) 75-100, (e) 100-150 m y (f) 150-200 m. Las elipses de color rojo representan sentido de giro ciclónico (+) y las elipses de color azul anticiclónico (-). | 27 |
| 6 | <i>Idem</i> Figura 3, para la componente semidiurna S_2 de 0 a 60 m. | 29 |
| 7 | <i>Idem</i> Figura 6, de 60 a 150 m. | 31 |
| 8 | Elipses de marea para la componente diurna K_1 (a) 0-25 m, (b) 25-50 m, (c) 50-75 m, (d) 75-100, (e) 100-150 m y (f) 150-200 m. Las elipses de color rojo representan sentido de giro ciclónico (+) y las elipses de color azul anticiclónico (-). | 33 |
| 9 | Elipses de marea para la componente diurna O_1 (a) 0-25 m, (b) 25-50 m, (c) 50-75 m, (d) 75-100, (e) 100-150 m y (f) 150-200 m. Las elipses de color rojo representan sentido de giro ciclónico (+) y las elipses de color azul anticiclónico (-). | 34 |

INDICE DE FIGURAS (continuación ...)

| Figura | | Página |
|--------|---|--------|
| 10 | Contornos de 0 a 60 m (a) amplitud del semieje mayor (cm s^{-1}) de la componente diurna K_1 , (b) desfase (horas) de la componente diurna K_1 , (c) amplitud del semieje mayor (cm s^{-1}) de la componente diurna O_1 y (d) desfase (horas) de la componente diurna O_1 . | 36 |
| 11 | <i>Idem</i> Figura 10, de 60 a 150 m. | 37 |
| 12 | Elipses de marea para la componente cuartidiurna M_4 (a) 0-25 m, (b) 25-50 m, (c) 50-75 m, (d) 75-100, (e) 100-150 m y (f) 150-200 m. Las elipses de color rojo representan sentido de giro ciclónico (+) y las elipses de color azul anticiclónico (-). | 39 |

INDICE DE TABLAS

| Tabla | | Página |
|-------|--|--------|
| I | Características generales de los anclajes. | 6 |
| II | Especificaciones de los sensores utilizados en el corrientímetro General Oceanics, Aanderaa y Endeco. | 8 |
| III | Longitud de la serie (hr) necesaria para separar las componentes de los principales armónicos semidiurnos (M_2 y S_2), diurnos (K_1 y O_1) y cuartidiurno (M_4). | 12 |
| IV | Resultados del análisis armónico de la componente semidiurna M_2 para invierno, verano y serie completa del corrientímetro Tere IV. | 41 |
| V | Resultados del análisis armónico de la componente semidiurna S_2 para invierno, verano y serie completa del corrientímetro Tere IV. | 42 |
| VI | Resultados del análisis armónico de la componente diurna K_1 para invierno, verano y serie completa del corrientímetro Tere IV. | 43 |
| VII | Resultados del análisis armónico de la componente diurna O_1 para invierno, verano y serie completa del corrientímetro Tere IV. | 43 |
| VIII | Resultados del análisis armónico de la componente cuartidiurna M_4 para invierno, verano y serie completa del corrientímetro Tere IV. | 44 |
| AI | Resultados del análisis armónico de la componente semidiurna M_2 . | 52 |
| AII | Resultados del análisis armónico de la componente semidiurna S_2 . | 53 |
| AIII | Resultados del análisis armónico de la componente diurna K_1 . | 54 |
| AIV | Resultados del análisis armónico de la componente diurna O_1 . | 55 |
| AV | Resultados del análisis armónico de la componente cuartidiurna M_4 . | 56 |

I. INTRODUCCION

En cuencas semicerradas y someras la marea juega un papel importante en la circulación. En particular, las mareas en el Golfo de California son de gran interés científico debido a su importancia en la dinámica. La marea en el golfo es cooscilación de la marea del Océano Pacífico, de tipo mixto con componentes predominantes en la banda semidiurna M_2 y S_2 y en la banda diurna O_1 y K_1 . En la región norte del Golfo de California (RNGC) los rangos de marea es de los más amplios del mundo (Filloux, 1973).

El comportamiento de la marea en el Golfo de California ha sido estudiado principalmente a través de simulaciones numéricas (e.g. Grijalva, 1972; Stock, 1976; De León y Ripa, 1987; Quiros *et al.*, 1992; Carbajal, 1993; Ripa y Velázquez, 1993; Argote *et al.*, 1995; Beier, 1997) debido a la carencia de observaciones directas. Los modelos numéricos se han limitado a reproducir los resultados de Filloux (1973), quien analizó series del nivel del mar de 15 estaciones alrededor de la costa del Golfo de California. De estas series obtuvo valores de amplitud y fase de la marea para las principales componentes diurnas (K_1 y O_1) y semidiurnas (M_2 y S_2). Los mapas cotidales de las componentes semidiurnas ($M_2 + S_2$) mostraron que la amplitud de la marea cerca de la boca del Golfo de California (~52 cm) decrece hacia la parte central del golfo (Santa Rosalía, ~27 cm) en donde se localiza un punto anfidrómico, y se amplifica hacia la cabeza (~267 cm). La amplitud de marea diurna ($K_1 + O_1$) presenta un comportamiento similar a la semidiurna, aunque más débil. En un trabajo posterior, Morales-Pérez y

Gutiérrez de Velasco (1989) reportaron que la marea semidiurna sufre un desfase de aproximadamente 5 horas 40 minutos desde la boca a la cabeza, mientras que el desfase de la marea diurna tiene un rango de 30 y 45 minutos.

La marea barotrópica en el Golfo de California ha sido ampliamente estudiada. La marea baroclínica o interna¹ no ha podido ser estudiada a fondo, debido a la dificultad que esta presenta al simularla numéricamente o medirla (ya que solo puede ser cuantificada a partir de mediciones de corrientes). Existe un estudio numérico de la marea interna en el Golfo de California, donde se encontró que en las frecuencias semidiurnas existe un desfase del orden de horas en la RNGC (Beier, 1999), mientras que la marea barotrópica presenta un desfase de ~90 min (Morales-Pérez y Gutiérrez de Velasco, 1989; Marinone y Lavín, 1997).

La corriente de marea ha sido predicha con modelos numéricos como el de Argote *et al.* (1995), que con un modelo barotrópico encuentra que el semieje mayor de las elipses de marea M_2 está alineado al eje longitudinal del golfo, excepto en los canales localizados en la sección media y en algunas bahías pequeñas del golfo norte. La amplitud del semieje mayor aumenta de la boca (2 cm s^{-1}) hacia la cabeza (70 cm s^{-1}). Las elipses de marea son casi rectilíneas debido a que el módulo de la razón del semieje

¹ La marea baroclínica o interna es una onda interna que ocurre a frecuencias cercanas a las de la superficie, y cuyos procesos de generación muestran características no lineales que tienden a producir ondas con periodos de 6 y 8 horas (Huthnance y Baines, 1982; Baines, 1986 y Wunsch, 1975). Su formación se da por el paso de la marea barotrópica sobre alguna estructura abrupta de topografía (Baines, 1986).

menor entre el semieje mayor es inferior a 0.2 sobre casi toda el área modelada, y predomina sentido de giro ciclónico.

Turrent-Thompson (1996) basándose en mediciones directas, analiza 15 días de datos de corrientes y temperaturas medidos por 6 corrientímetros posicionados en un solo anclaje durante el verano de 1990. Encontró que la corriente fluctuante está dominada por mareas semidiurnas, y que las elipses componentes de la banda semidiurna aumentan en magnitud y se vuelven más rectilíneas con la profundidad. La forma, tamaño y sentido de rotación de las elipses componentes de la banda diurna, dan evidencia de una sobreposición de oscilaciones inerciales con un flujo inducido por la marea diurna. Otro punto importante es que las frecuencias semidiurnas y la frecuencia cuartidiurna (M_4) están asociadas a una estructura baroclínica de los campos de velocidad y temperatura, lo que parece indicar la existencia de una marea interna.

La marea interna requiere de un estudio extenso para ampliar el conocimiento sobre ella y porque es una forma de disipación de energía de la marea barotrópica, que es de una escala temporal muy energética. La marea interna no ha sido corroborada espacialmente por mediciones directas por lo que no se ha podido establecer el desfase del orden de horas que se menciona en las simulaciones numéricas.

En este trabajo se realiza un amplio análisis del comportamiento de la marea baroclínica. Se llevó a cabo una intensa campaña observacional en la RNGC utilizando anclajes de corrientímetros desde noviembre de 1994 hasta febrero de 1996. Se propone analizar las elipses componentes de los armónicos diurnos (K_1 y O_1), semidiurnos (M_2 y

S_2) y cuartidiurno (M_4) de la marea. Los resultados de este trabajo serán de gran utilidad a los modeladores numéricos que intenten simular la marea baroclínica, así como a otras investigaciones sobre la oceanografía del Golfo de California.

I.1 Area de estudio

La RNGC (figura 1) abarca desde la zona de las grandes islas (Isla Tiburón e Isla Angel de la Guarda) hasta la línea que va de San Felipe, Baja California ($31^\circ 1.68'$ N y $114^\circ 50.80'$ O) a Puerto Peñasco, Sonora que se localiza a $31^\circ 3.0'$ N y 114° O. La profundidad media es de ~ 200 m, la mayor parte del fondo marino puede clasificarse como parte de la plataforma continental. En esta zona existen cuencas profundas (Delfín (800 m) y Wagner (200 m)).

I.2 Anclajes

Como parte de las campañas oceanográficas nombradas como embarcación, año y mes, FU9412 (Francisco de Ulloa), FU9501, FU9503, FU9505, FU9508, EP9508 (El Puma), LR9602 (Lucía Rosas) y FU9603 realizadas por el Departamento de Oceanografía Física del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), se instalaron 26 anclajes en diferentes localidades de la RNGC. Para información sobre posición de anclajes, profundidad de corrientímetros, duración de la serie de tiempo, etc. ver Tabla I.

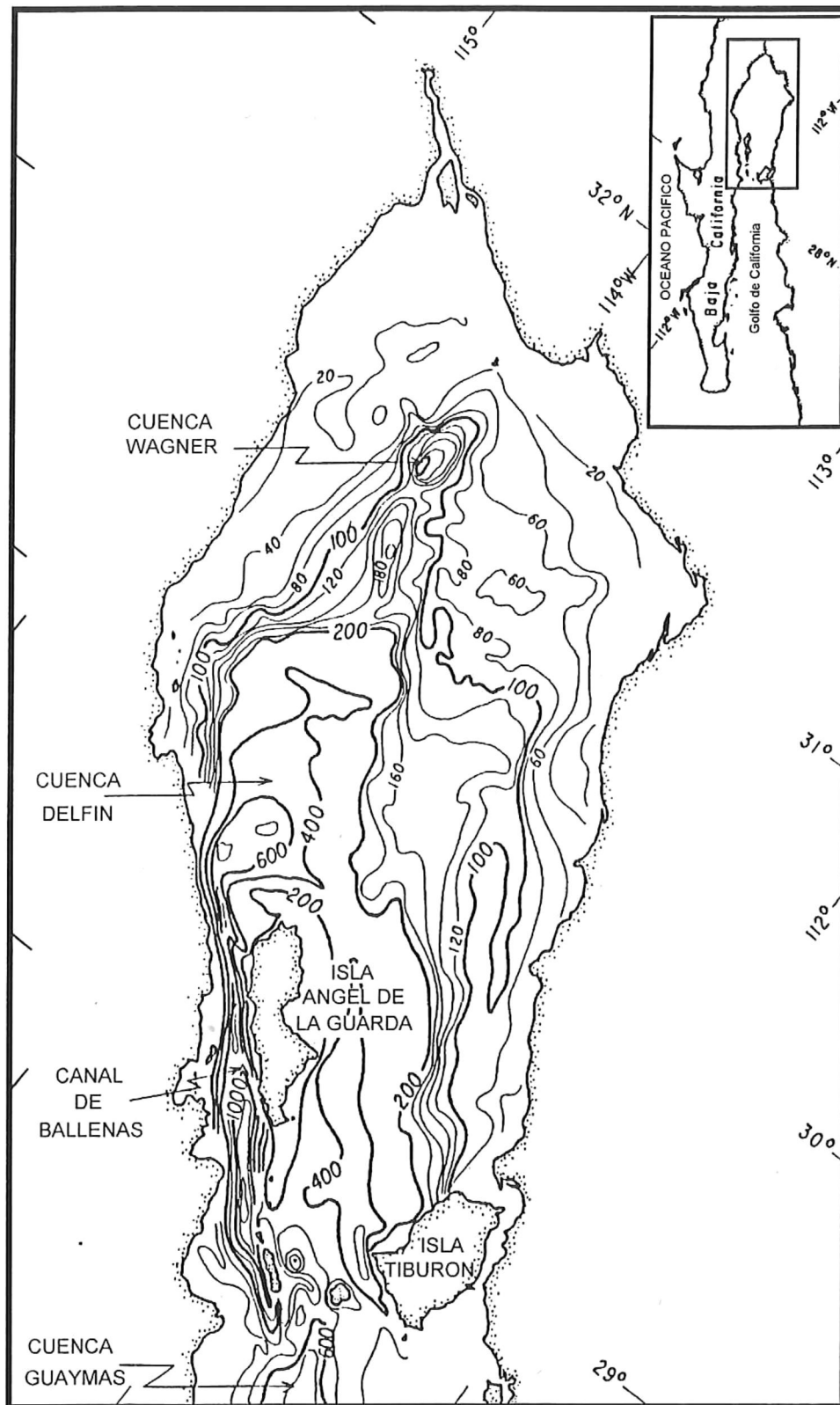


Figura 1. Area de estudio. Región Norte del Golfo de California (RNGC).

Tabla I. Características generales de los anclajes.

| Anclaje | Latitud (N) | Longitud (O) | Profundidad (m) Instrumento/Fondo | Fecha Inicio Final | Hora Inicio Final | Duración (días) | Intervalo de muestreo (minutos) | No. datos | Marca No. de serie |
|----------|-------------|--------------|-----------------------------------|--------------------|-------------------|-----------------|---------------------------------|-----------|--------------------|
| Lilia | 31° 11.32' | 113° 57.87' | 19/52 | 271194 061294 | 11:17 09:41 | 8.93 | 2 | 6433 | Endeco 048 |
| | | | 29/52 | 271194 061294 | 12:00 09:50 | 8.91 | 10 | 1284 | G.O. 617 |
| Mary | 30° 21.75' | 114° 10.98' | 21/150 | 281194 131294 | 14:03 06:53 | 14.7 | 10 | 2118 | G.O. 420 |
| | | | 60/150 | 281194 131294 | 14:10 07:00 | 14.7 | 10 | 2118 | G.O. 481 |
| | | | 120/150 | 281194 131294 | 14:20 07:00 | 14.7 | 10 | 2117 | G.O. 490 |
| Mary II | 30° 22.50' | 114° 11.36' | 21/150 | 131294 230195 | 17:56 08:06 | 40.59 | 10 | 5846 | G.O. 420 |
| | | | 60/150 | 131294 230195 | 17:47 08:07 | 40.59 | 10 | 5847 | G.O. 481 |
| | | | 120/150 | 131294 230195 | 17:59 08:09 | 40.59 | 10 | 5846 | G.O. 490 |
| Paty | 30° 23.33' | 113° 43.32' | 25/150 | 281194 240195 | 09:25 11:45 | 57.1 | 10 | 8223 | G.O. 424 |
| | | | 120/150 | 281194 240195 | 09:35 12:25 | 57.1 | 10 | 8226 | G.O. 421 |
| Rosalba | 30° 42.52' | 114° 14.92' | 28/95 | 071294 270195 | 15:07 11:13 | 50.84 | 3 | 24406 | Endeco 048 |
| | | | 85/95 | 071294 311294 | 16:48 04:08 | 24.63 | 10 | 3548 | G.O. 617 |
| Andrea | 30° 00.62' | 113° 51.03' | 20/397 | 011294 010295 | 02:30 16:00 | 62.56 | 10 | 9010 | G.O. 423 |
| | | | 57/397 | 011294 010295 | 02:19 16:09 | 62.58 | 10 | 9012 | G.O. 616 |
| Tere II | 30° 03.97' | 114° 16.33' | 21/199 | 250195 020295 | 12:34 10:04 | 7.90 | 10 | 1138 | G.O. 424 |
| | | | 170/199 | 250195 020295 | 12:24 10:23 | 7.92 | 10 | 1141 | Aanderaa 11653 |
| Violeta | 31° 16.33' | 114° 14.12' | 22/44 | 050295 110295 | 04:53 06:35 | 6.07 | 3 | 2915 | Endeco 048 |
| Karla | 30° 59.62' | 114° 17.12' | 15/31 | 260195 120295 | 07:00 10:00 | 17.13 | 10 | 2467 | G.O. 421 |
| Tere III | 30° 05.13' | 114° 11.28' | 21/297 | 020295 050395 | 16:44 12:04 | 30.81 | 10 | 4437 | G.O. 424 |
| | | | 160/297 | 020295 050395 | 16:03 12:33 | 30.86 | 10 | 4444 | Aanderaa 11653 |
| Mary III | 30° 21.48' | 114° 11.28' | 28/157 | 230195 090395 | 14:10 11:50 | 44.97 | 10 | 6476 | G.O. 420 |
| | | | 67/157 | 230195 090395 | 13:54 11:54 | 44.92 | 10 | 6469 | G.O. 481 |
| | | | 127/157 | 230195 090395 | 14:00 11:30 | 44.90 | 10 | 6466 | G.O. 490 |
| Popi | 30° 31.12' | 113° 21.96' | 69/105 | 240195 070395 | 10:43 03:53 | 16.72 | 10 | 2408 | Aanderaa 11652 |
| Tere | 30° 03.93' | 114° 16.53' | 39/200 | 301194 080295 | 22:52 21:52 | 69.96 | 10 | 10075 | G.O. 606 |
| | | | 120/200 | 301194 080295 | 22:42 21:52 | 69.97 | 10 | 10076 | G.O. 489 |
| Susana | 30° 21.00' | 113° 21.96' | 32/147 | 080395 110595 | 21:37 22:08 | 64.04 | 30 | 3074 | Aanderaa 11651 |
| | | | 91/147 | 080395 100695 | 00:19 05:49 | 93.25 | 30 | 4476 | Aanderaa 11652 |
| Mary IV | 30° 20.49' | 114° 08.95' | 44/208 | 160395 310595 | 07:50 15:30 | 76.32 | 5 | 21981 | Endeco 048 |
| | | | 54/208 | 170395 310595 | 08:25 16:25 | 75.34 | 20 | 5425 | G.O. 423 |
| | | | 134/208 | 170395 310595 | 08:31 16:31 | 75.34 | 20 | 5425 | G.O. 616 |
| | | | 188/208 | 160395 310595 | 08:18 15:38 | 76.31 | 20 | 5495 | G.O. 421 |
| Laura | 29° 59.51' | 114° 08.15' | 52/297 | 150395 030695 | 03:45 06:05 | 80.11 | 20 | 5768 | G.O. 481 |
| | | | 160/297 | 150395 030695 | 03:45 06:05 | 80.11 | 20 | 5768 | G.O. 490 |
| | | | 180/297 | 150395 030695 | 03:45 06:05 | 80.11 | 20 | 5768 | G.O. 420 |

Tabla I. Continuación ...

| Anclaje | Latitud (N) | Longitud (O) | Profundidad (m) Instrumento/Fondo | Fecha Inicio Final | Hora Inicio Final | Duración (días) | Intervalo de muestreo (minutos) | No. datos | Marca No. de serie |
|------------|-------------|--------------|-----------------------------------|--------------------|-------------------|-----------------|---------------------------------|-----------|--------------------|
| | | | 250/297 | 150395 030695 | 03:54 06:14 | 80.11 | 20 | 5768 | G.O. 425 |
| Ana | 29° 45.42' | 113° 34.97' | 35/297 | 080395 030695 | 00:00 10:40 | 87.45 | 20 | 6297 | G.O. 617 |
| | | | 107/297 | 080395 040695 | 00:24 06:04 | 88.25 | 20 | 6354 | G.O. 424 |
| Tulipán | 31° 24.20' | 114° 23.55' | 12/20 | 250895 090995 | 11:55 19:35 | 15.33 | 20 | 1104 | G.O. 489 |
| Loto | 30° 21.00' | 113° 21.97' | 35/55 | 100695 121195 | 00:09 09:07 | 63.43 | 30 | 3045 | Aanderaa 11651 |
| | | | 45/55 | 100695 120695 | 00:09 09:09 | 60.39 | 30 | 2899 | Aanderaa 11652 |
| Margarita | 29° 52.69' | 114° 07.38' | 120/340 | 090695 130995 | 12:30 14:10 | 96.08 | 20 | 6918 | G.O. 424 |
| | | | 240/340 | 090695 130995 | 12:30 14:10 | 96.08 | 20 | 6918 | G.O. 490 |
| Bugambilia | 29° 45.42' | 113° 34.97' | 17/40 | 060695 180995 | 09:01 11:21 | 104.1 | 20 | 7496 | G.O. 617 |
| Ana III | 29° 45.44' | 113° 34.98' | 20/300 | 170995 131095 | 19:40 06:40 | 25.47 | 20 | 1834 | G.O. 490 |
| Mary V | 30° 21.24' | 114° 11.77' | 50/205 | 200995 060296 | 16:00 10:00 | 138.75 | 20 | 9990 | G.O. 617 |
| Tere IV | 29° 52.67' | 114° 07.38' | 50/340 | 190995 060296 | 08:25 05:45 | 139.90 | 20 | 10073 | G.O. 489 |
| | | | 100/340 | 190995 280296 | 08:20 14:22 | 162.27 | 30 | 7789 | Aanderaa 11651 |
| Jessica | 30° 13.44' | 113° 22.84' | 20/145 | 121095 010396 | 23:16 09:36 | 139.44 | 20 | 10040 | G.O. 606 |
| | | | 50/145 | 121095 010396 | 23:16 09:36 | 139.44 | 20 | 10040 | G.O. 481 |
| | | | 85/145 | 121095 010396 | 23:03 10:03 | 139.47 | 20 | 10042 | G.O. 420 |
| Ana IV | 29° 52.69' | 113° 34.98' | 20/300 | 131095 040296 | 15:40 14:40 | 113.97 | 20 | 8206 | G.O. 490 |

Se emplearon tres diferentes marcas de corrientímetros: General Oceanics (G.O.), Aanderaa y Endeco. A continuación se da una breve explicación de cada uno de ellos:

a) Inclinómetro General Oceanics (G. O.). Está formado por una caja cilíndrica de metal resistente a la presión y una aleta fija a la caja. Su flotabilidad es ligeramente negativa y responde a la corriente alejándose de la vertical. El ángulo de inclinación del instrumento es obtenido por medio de un inclinómetro con el que se calcula la rapidez de la corriente (Robles-Pacheco *et al.*, 1992).

b) Aanderaa modelo RCM 7. Este instrumento registra internamente la información en una unidad de memoria sólida, e incluye un reloj de cuarzo que activa los sistemas de

medición. Palacios-Hernández *et al.* (1997) incluye una explicación sobre el funcionamiento, calibración y procesamiento de los datos de este tipo de corrientímetro.

c) Endeco. Registra la información sobre memoria sólida (rapidez, dirección de la corriente y temperatura). Es un instrumento de plástico de P.V.C., con un peso aproximadamente de 14 kg. en el aire y dimensiones de 85.1 cm de largo y 40.6 cm de diámetro, tiene boyancia neutra ajustable para agua salada y dulce (Endeco, 1986).

El tipo de sensores, rango y exactitud de cada uno de los corrientímetros antes mencionados se muestran en la Tabla II.

Tabla II . Especificaciones de los sensores utilizados en el corrientímetro General Oceanics, Aanderaa y Endeco (Robles-Pacheco *et al.*, 1992; Palacios-Hernández *et al.*, 1997; Endeco, 1986).

| | G. O. | | Aanderaa | | Endeco | |
|-----------|---------------------------|------------------|----------------------|------------------|---------------------------|------------------|
| | Rapidez | Dirección | Rapidez | Dirección | Rapidez | Dirección |
| Sensor | Inclinómetro | Compás Magnético | Rotor | Compás Magnético | Rotor | Compás Magnético |
| Rango | 0 a 360 cms ⁻¹ | 0 a 360° | | | 0 a 257 cms ⁻¹ | 0 a 360° |
| Exactitud | ±1 cms ⁻¹ | ±2° | ±1 cms ⁻¹ | ±5° | ±3 % | ±7.2° |

I.3 Objetivos

Analizar los registros de corrientes mediante análisis armónico para la obtención de las elipses componentes de las principales armónicas diurnas (K_1 y O_1), semidiurnas (M_2 y S_2) y cuartidiurna (M_4) de la marea.

Describir el comportamiento de las principales armónicas diurnas (K_1 y O_1), semidiurnas (M_2 y S_2) y cuartidiurna (M_4) de la marea, tanto vertical como horizontalmente en la región Norte del Golfo de California (RNGC).

I.4 Notación

Con el propósito de facilitar la lectura del presente trabajo, se define aquí la simbología recurrente utilizada en el escrito:

Φ_{GEO} = Dirección de la corriente (ángulo azimutal) [°]

Φ_{MAT} = Dirección de la corriente (ángulo matemático) [°]

u = Componente este-oeste de la velocidad.

v = Componente norte-sur de la velocidad.

M_2 = Constituyente semidiurna lunar de la marea (su período es de 12.42 horas).

S_2 = Constituyente semidiurna solar de la marea (su período es de 12.00 horas).

K_1 = Constituyente diurna luni-solar de la marea (su período es de 23.93 horas).

O_1 = Constituyente diurna lunar de la marea (su período es de 25.82 horas).

M_4 = Constituyente cuartidiurna de la marea (su período es de 6.21 horas).

u_0, v_0 = Velocidad promedio.

u_j, v_j = Amplitud de la componente que tiene índice j .

σ_j = Frecuencia presente en el potencial de la marea de la componente que tiene índice j .

α_j, β_j = Desfase de la componente que tiene índice j .

II. METODOLOGIA

II.1 Tratamiento preliminar

A cada archivo de datos se le aplicó un tratamiento preliminar para facilitar su utilización en el análisis:

1. Corrección de la dirección de flujo por el desfase que existe entre el norte magnético (sobre el cual se realizaron las mediciones en el campo) y el norte geográfico que es de aproximadamente 11° a la latitud de los anclajes.
2. Todos los datos fueron ajustados a hora local.
3. Se eliminaron los períodos de medición tomados fuera del agua.
4. Se aplicó análisis armónico (Foreman, 1978). Para su aplicación los datos analizados deben ser horarios (un dato por cada hora).

II.2 Criterio de Rayleigh

El criterio de Rayleigh nos indica si una componente dada debe ser tomada en cuenta en el análisis armónico. Si F_0 es la frecuencia (ciclos/hr) de dicha componente, F_1 es la frecuencia de la componente consecutiva y T es la longitud de la serie a analizar (hr), entonces las componentes estarán incluidas en el análisis solamente si $|F_0 - F_1| T \geq \text{Rayleigh}$. El valor de Rayleigh asignado comúnmente es de 1 aunque se le

puede especificar un valor diferente (Foreman, 1977). Si el criterio de Rayleigh fuera menor que 1, el número de datos necesarios para la separación de la constituyente será mayor. Se muestra en la Tabla III la longitud de la serie (hr) necesaria para separar las cinco componentes de interés en este trabajo. El valor de Rayleigh utilizado es 1.

Tabla III. Longitud de la serie (hr) necesaria para separar las componentes de los principales armónicos semidiurnos (M_2 y S_2), diurnos (K_1 y O_1) y cuartidiurno (M_4) (Foreman, 1977).

| Componente | Longitud de la serie (hr) |
|------------|---------------------------|
| M_2 | 13 |
| K_1 | 24 |
| M_4 | 25 |
| O_1 | 328 |
| S_2 | 355 |

II.3 Análisis armónico

La descomposición de las observaciones de corrientes en componentes u (este-oeste) y v (norte-sur) se hace por convención, prestándose para el uso de análisis de variable compleja. La elección de otra serie de coordenadas rectangulares sería igualmente justificable mientras el eje imaginario positivo “ y ”, es 90° del eje real positivo “ x ”. Esta condición se satisface en este caso por colocar la componente norte-sur (v) en la parte imaginaria y la componente este-oeste (u) en la parte real de una señal compleja $Z(t)=u+iv$.

Supóngase que cada componente de la corriente está formada de una constituyente aperiódica y varias constituyentes de la marea que ocurren a frecuencias σ_j (ciclos/hora) para $j = 1 \dots M$. Entonces la señal compleja puede expresarse como:

$$z(t) = u_0(t) + \sum_{j=1}^M u_j \cos 2\pi(\sigma_j t - \beta_j) + i \left[v_0(t) + \sum_{j=1}^M v_j \cos 2\pi(\sigma_j t - \alpha_j) \right] \quad (1)$$

Al sustituir

$$cu_j = u_j \cos 2\pi\beta_j,$$

$$su_j = u_j \operatorname{sen} 2\pi\beta_j,$$

$$cv_j = v_j \cos 2\pi\alpha_j$$

y

$$sv_j = v_j \operatorname{sen} 2\pi\alpha_j$$

en la ecuación original, la señal puede escribirse inicialmente como:

$$\begin{aligned} Z(t) = & u_0(t) + \sum_{j=1}^M [cu_j \cos 2\pi\sigma_j t + su_j \operatorname{sen} 2\pi\sigma_j t] \\ & + i \left\{ v_0(t) + \sum_{j=1}^M [cv_j \cos 2\pi\sigma_j t + sv_j \operatorname{sen} 2\pi\sigma_j t] \right\} \end{aligned} \quad (2)$$

que puede expresarse como:

$$\begin{aligned} Z(t) = & u_0(t) + iv_0 \\ & + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^M \left\{ [(cu_j + sv_j) + (cv_j - su_j)] \exp(2\pi i \sigma_j t) \right. \\ & \left. + [(cu_j - sv_j) + (cv_j + su_j)] \exp(-2\pi i \sigma_j t) \right\} \end{aligned} \quad (3)$$

Cada frecuencia σ_j tiene un valor de:

$$a^+ = \left(\left(\frac{cu + sv}{2} \right)^2 + \left(\frac{cv - su}{2} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$a^- = \left(\left(\frac{cu - sv}{2} \right)^2 + \left(\frac{cv + su}{2} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

y

$$\varepsilon^+ = \arctan \left(\frac{cv - su}{cu + sv} \right) \quad (6)$$

$$\varepsilon^- = \arctan \left(\frac{cv + su}{cu - sv} \right) \quad (7)$$

donde:

a^+ = primer vector con giro en contra de las manecillas del reloj.

a^- = segundo vector con giro a favor de las manecillas del reloj.

ε^+ y ε^- = ángulo (radianes) en contra de las manecillas del reloj para el eje u (este-oeste) positivo en $t=0$.

La contribución de la corriente de marea para cada componente j es:

$$\begin{aligned} Z(t) &= Z^+(t) + Z^-(t) \\ &= a^+ \exp(i\varepsilon^+ + 2\pi i \sigma t) + a^- \exp(i\varepsilon^- - 2\pi i \sigma t) \\ &= \exp \left[\frac{i(\varepsilon^+ + \varepsilon^-)}{2} \right] \left[\begin{aligned} &(a^+ + a^-) \cos \left(\left(\frac{\varepsilon^+ + \varepsilon^-}{2} \right) + 2\pi \sigma t \right) \\ &+ i(a^+ - a^-) \operatorname{sen} \left(\left(\frac{\varepsilon^+ - \varepsilon^-}{2} \right) + 2\pi \sigma t \right) \end{aligned} \right] \end{aligned} \quad (8)$$

La primera expresión de la ecuación 8 revela que la contribución de la corriente de marea esta formada por dos vectores $Z^+(t)$ y $Z^-(t)$, cada uno rota a una velocidad angular

de σ ciclos por hora. La segunda expresión muestra un período de tiempo de $1/\sigma$ horas, la trayectoria del vector $Z(t)$ traza un elipse y satisface la ecuación:

$$\frac{x^2}{M^2} + \frac{y^2}{m^2} = 1 \quad (9)$$

que es la ecuación de la elipse con semieje mayor (M) y semieje menor (m). A partir de la ecuación 9 se obtienen las siguientes definiciones:

$$M = a^+ + a^-$$

$$m = a^+ - a^-$$

$$\theta = \frac{\varepsilon^+ + \varepsilon^-}{2} \text{ en radianes,}$$

donde θ es el ángulo de inclinación del semieje mayor con respecto al eje este-oeste.

El sentido de rotación de la componente j está determinado por el signo de m . Si $m > 0$ la componente gira en contra de las manecillas del reloj (sentido de giro ciclónico); lo que ocurre cuando $a^+ > a^-$. Si $m < 0$, la componente gira a favor de las manecillas del reloj (sentido de giro anticiclónico) y ocurre cuando $a^+ < a^-$. Cuando $a^+ = a^-$, $m = 0$, y en este caso, la componente oscila rectilíneamente a la dirección θ y el sentido de rotación no importa.

Otro de los elementos importantes en el análisis armónico es el desfase con respecto al Meridiano de Greenwich. En la práctica se usa el término correspondiente en el potencial de marea y la astronomía determina su fase $V(t)$ para cualquier tiempo t . El desfase de Greenwich (g) se define como la fase entre la culminación de la componente de la marea vertical local y la culminación de la componente correspondiente en el

potencial (Godin, 1988). $V(t)$ es el argumento astronómico de la componente de la marea en tiempo t . De las siguientes expresiones:

$$g^+ = V(t) - \varepsilon^- \quad (10)$$

$$g^- = V(t) + \varepsilon^- \quad (11)$$

se encuentra que g puede ser calculada en términos de g^+ y g^- , como:

$$g = \frac{g^+ + g^-}{2} \quad (12)$$

Esto tiene sentido físico porque puede considerarse como el desfase entre la fuerza aplicada y el desplazamiento. La convención es medir $V(t)$ en la zona de Greenwich como si t fuera GMT.

En la forma final de un análisis armónico de los elementos de una elipse componente para cualquier armónico j se obtiene el:

semieje mayor (M), semieje menor (m), inclinación (con respecto al eje este-oeste) del semieje mayor (θ) y desfase de Greenwich (g) para la zona en la cual los datos fueron tomados.

Una característica de las elipses de marea es la excentricidad (ε), la cual está definida por el cociente entre el semieje menor (m) y el semieje mayor (M) ($\varepsilon = m/M$). ε varía de -1 a 1. Para valores cercanos a $|1|$ las elipses tienden a ser circulares, y para valores cercanos a 0 las elipses tienden a ser rectilíneas. Como ya se indicó, el signo determina el sentido de giro.

III. RESULTADOS

En este capítulo se muestran los resultados que se obtuvieron tras aplicar la metodología descrita en el capítulo II. Los resultados obtenidos se dividieron en cuatro niveles de 25 metros cada uno y a partir de los 100 metros en niveles de 50 metros cada uno (los nombres de los anclajes van seguidos por la profundidad a la que estuvieron los corrientímetros). Para una mejor visualización y descripción de las elipses de marea, se han incluido en el anexo las tablas de datos que sintetizan los resultados del análisis armónico para todos los anclajes (Tabla AI a Tabla AV).

En el capítulo II se discute acerca del criterio de Rayleigh. En este trabajo, la mayoría de los anclajes cumplen con la longitud de serie mínima necesaria para obtener las 5 componentes estudiadas. Existen cuatro anclajes que no cumplieron con la longitud para ciertas componentes, Lilia, Tere II, Violeta y Mary, para los cuales únicamente se obtuvieron las componentes M_2 , K_1 y M_4 .

III.1 Componente semidiurna M_2

En la componente semidiurna M_2 (figura 2) las velocidades más intensas se localizaron en los corrientímetros situados en el Alto Golfo (Tulipán 12m, 44 cm s^{-1} ; Lilia 29m, 35 cm s^{-1} y Karla 15m, 33 cm s^{-1}), mientras que las velocidades más débiles en los corrientímetros localizados en la costa de Baja California y Cuenca Wagner (Violeta 22m, 9 cm s^{-1}). La amplitud del semieje mayor de la corriente de marea tiende

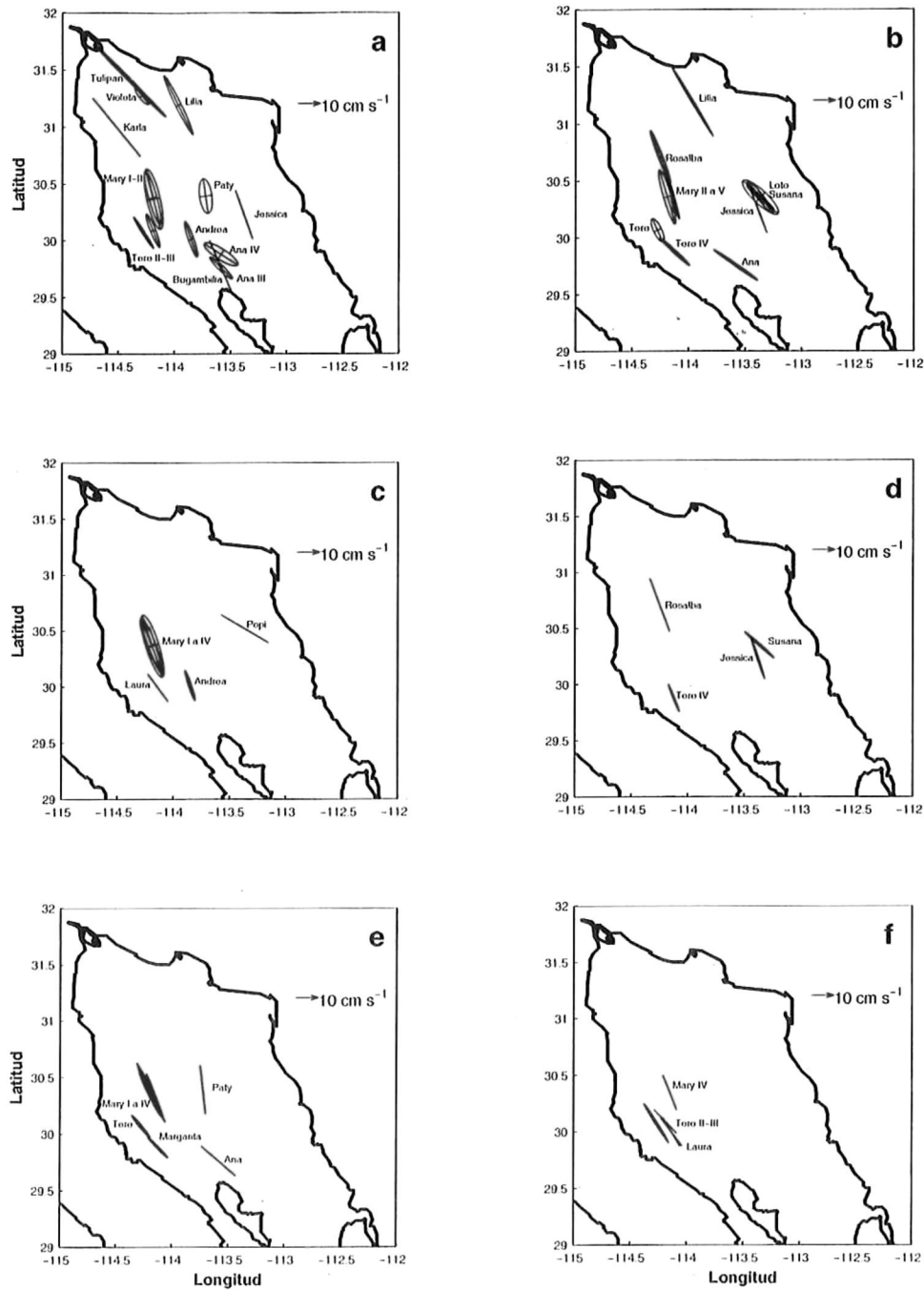


Figura 2. Elipses de marea para la componente semidiurna M_2 (a) 0-25 m, (b) 25-50 m, (c) 50-75 m, (d) 75-100 m, (e) 100-150 m y (f) 150-200m. Las elipses de color rojo representan sentido de giro ciclónico (+) y las elipses de color azul anticiclónico (-).

a incrementarse en zonas someras como en el Alto Golfo, mientras que en zonas profundas como en Cuenca Delfín, tiende a disminuir tal y como se observó en los umbrales (Salas-Pérez, 1996). La amplitud disminuye cerca del fondo, lo cual se atribuye al efecto de fricción (Salas-Pérez, 1996). Turrent-Thompson (1996) sin embargo, encuentra que la magnitud de las elipses no disminuye con la profundidad, y únicamente se hacen más rectilíneas (la corriente es unidireccional) debido a que la marea interna podría degradar ligeramente las señales semidiurnas cerca de la superficie. Esto no sucede en este estudio, como se discute más adelante.

La inclinación del semieje mayor generalmente se orienta con el eje longitudinal del golfo (325° azimutal). En los siete niveles se observa el mismo comportamiento, aunque se observan ligeras desviaciones hacia el este del eje longitudinal del golfo (del orden de 10°); sin embargo, en los corrientímetros Violeta (22 m), Tulipán (12 m), Ana III (20 m), Ana IV (20 m) (figura 2a), Popi (69 m), Laura (52 m) (figura 2c), Tere (120 m), Ana (107 m) y Margarita (120 m) (figura 2e) las elipses se orientan ligeramente hacia el oeste (de 4° a 23°).

La excentricidad de las elipses de marea en zonas someras es cercana a cero, lo que indica que tienden a ser rectilíneas. En la figura 2a se aprecia que en los corrientímetros Karla (15 m), Bugambilia (17 m) y Jessica (20 m) el semieje menor es casi nulo, lo que indica que las corrientes de marea son rectilíneas. En el segundo nivel de profundidad (de 25 a 50 m) existen corrientímetros cuya excentricidad es mayor que 0.2 (Tere 39 m y Loto 35 m) lo que genera elipses de marea más circulares. Aunque las elipses de marea

tienden a ser rectilíneas en zonas someras, Ana (107 m) y Paty (120 m)(figura 2e) presentan el mismo comportamiento.

El sentido de giro anticiclónico predomina en los corrientímetros localizados frente a las costas de Baja California, sin embargo, Tere II (21 m) y III (21 m) (figura 2a) situados al noroeste de Cuenca Delfín, Tere (39 m) y Mary V (50 m) (figura 2b) localizados al sureste de San Felipe tienen sentido de giro ciclónico. En el nivel que va de 150 a 200 m (figura 2f) se aprecia que los corrientímetros localizados frente a la costa de Baja California presentan sentido de giro ciclónico y únicamente en Mary IV (188 m) el sentido de giro es anticiclónico.

III.1.1 Contornos de amplitud, inclinación, excentricidad y desfase de M_2

Con el fin de obtener una mejor presentación de la distribución espacial y para comparar con los resultados de simulaciones numéricas, que generalmente se presentan de esta forma, se dibujaron contornos de amplitud del semieje mayor, inclinación, excentricidad de las elipses de marea y desfase con respecto al meridiano de Greenwich. Se utilizó la técnica de mapeo objetivo (Roemmich, 1983) con el propósito de evitar subjetividad en la realización de contornos. Esta técnica ha sido utilizada en varios trabajos en el Golfo de California (Bray, 1988a y Carrillo-Bibriezca, 1996). Los resultados se agruparon en dos capas, superior (0 a 60 m) e inferior (60 a 150) para obtener mayor resolución. La profundidad de la capa superior se eligió en función de la

profundidad de la capa de mezcla (Martínez-Sepulveda, 1994; Carrillo-Bibriezca, 1996; Beier y Ripa, 1999) que indica que la capa superior de 70 m es suficiente para explicar la circulación superficial en la RNGC.

En la figura 3a se muestran los contornos de amplitud del semieje mayor para la capa superior (0 a 60 m). Se aprecia un valor mínimo de 16 cm s^{-1} al sur de la RNGC. La amplitud de M_2 se incrementa hacia la cabeza del golfo hasta alcanzar un máximo de 44 cm s^{-1} . Este aumento se atribuye a la componente externa (barotrópica; Beier, 1999), al carácter resonante del golfo (Marinone y Lavín, 1997) y al asomeramiento del golfo (Hendershot y Speranza, 1971; Filloux, 1973; Godin, 1993). En la Cuenca Wagner existe una disminución en la amplitud ($\sim 16 \text{ cm s}^{-1}$), lo cual se atribuye a un aumento repentino de la profundidad. En esta misma capa (figura 3b) se aprecia que cerca del Alto Golfo de California y de la Isla Angel de la Guarda la inclinación del semieje mayor (en grados azimutales) está ligeramente desviada hacia el oeste del eje longitudinal del golfo, mientras que en el centro de la RNGC está desviada hacia el este. Esto está influenciado por la componente baroclínica (Beier, 1999). Se observan círculos concéntricos que coinciden con el giro que domina la circulación estacional de la RNGC (Bray, 1988a; Carrillo-Bibriezca, 1996; Beier 1997; Beier y Ripa, 1999; Lavín *et al.*, 1997; Carrillo y Lavín, 1999 sometida a *J. Geophys. Res.*, Palacios-Hernández *et al.*, 2000 sometida a *J. Phys. Oceanogr.*). Esto puede atribuirse a que la interfase de la capa mezclada presenta un comportamiento estacional similar al mostrado en la figura 3b, por

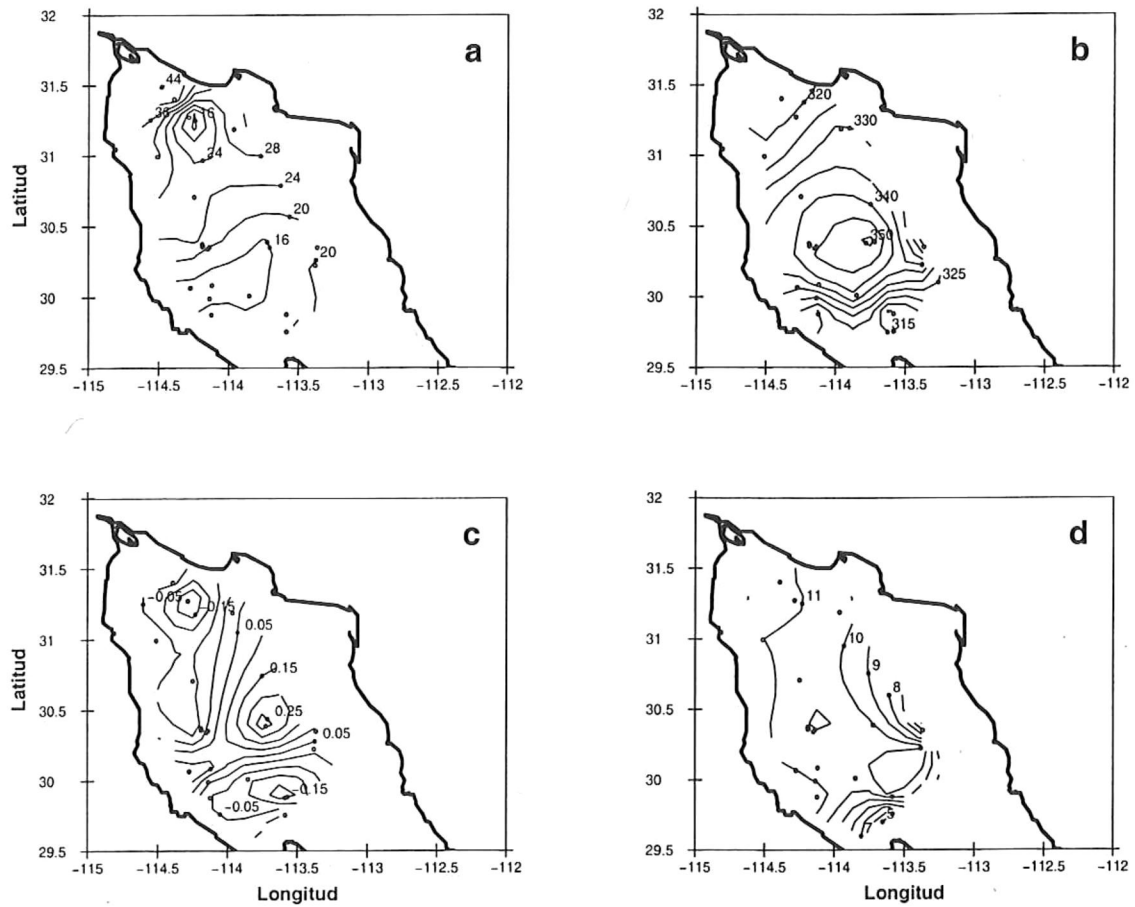


Figura 3. Contornos de 0 a 60 m para la componente semidiurna M_2 (a) amplitud del semieje mayor (cm s^{-1}), (b) inclinación del semieje mayor (azimutales), (c) excentricidad de las elipses de marea y (d) desfase (horas). Los símbolos "o" representan la posición del corrientímetro.

lo que a su vez puede afectar la orientación de las elipses de marea. Se observa una distribución similar en las simulaciones baroclínicas de la marea de Beier (1999), mientras que los resultados de modelos barotrópicos no lo presentan (Argote *et al.*, 1995). En los contornos de excentricidad (figura 3c), existen tres máximos, el primero al noreste de Cuenca Wagner con una magnitud de 0.15 con sentido de giro anticiclónico en el cual las elipses de marea tienden a ser rectilíneas conforme se aleja del valor máximo, el segundo se localiza al noreste de Cuenca Delfín con una excentricidad de 0.25. En esta zona las elipses de marea tienden a ser más circulares, presentan sentido de giro ciclónico y conforme se alejan de la zona de máxima excentricidad tienden a ser rectilíneas. El tercero se localiza al norte de Isla Angel de la Guarda con un valor de 0.15 y el sentido del giro es anticiclónico, similar a lo encontrado por Beier (1999) y contrario a los resultados de Argote *et al.*, (1995). Estos resultados sustentan las simulaciones numéricas de Beier (1999). El sentido de giro de las elipses de marea presenta una distribución superficial similar a la observada por Taylor (1921) en la propagación de una onda en la cabeza de un canal. Los contornos de la distribución de desfase con respecto al meridiano de Greenwich de la componente M_2 (figura 3d), muestran que la onda de marea M_2 se desplaza en la RNGC por la costa de Sonora. En el interior de la región, la onda continua propagándose hacia el noroeste, con un desfase de 8 horas ($\sim 231^\circ$) entre el límite sur de la RNGC y el Alto Golfo de California. En trabajos anteriores se indica que el desfase entre la boca y la cabeza es de 5 hr 40 min. (Morales-Pérez y Gutiérrez de Velasco, 1989) y de 6 hr 36 min. (Marinone y Lavín, 1997). Sin embargo Beier (1999)

encuentra que debido a marea interna la interfase tarda alrededor de 1 día, en propagarse de la región de las Islas hacia el Alto Golfo. Los resultados obtenidos en este trabajo validan a los encontrados por Beier (1999) ya que son similares.

La figura 4 muestra los mismos contornos de la figura anterior para la capa inferior (60 a 150 m). En esta capa, se observa que el semieje mayor se comporta de manera similar a la capa superior. La amplitud es de 10 cm s^{-1} en la región sur y aumenta hacia la cabeza hasta 30 cm s^{-1} (figura 4a). Los contornos de inclinación del semieje mayor de esta misma capa mostrados en la figura 4b, indican que el semieje mayor está ligeramente desviado al oeste del eje longitudinal del golfo cerca de la Isla Angel de la Guarda, además, las elipses cuyo semieje se desvía hacia el este están en el centro de la RNGC. En la figura 4c se observa que la excentricidad a lo largo de esta región es menor que 0.1 lo que indica que las elipses de marea tienden a ser rectilíneas. La Cuenca Wagner y la región más al sur presentan sentido de giro anticiclónico, mientras que al noreste y al este de Cuenca Delfín el sentido del giro es ciclónico. El cambio del sentido de rotación y la excentricidad muestran no sólo que las elipses son más rectilíneas, sino que también cambian el sentido de rotación en una escala horizontal propia del modo interno (Beier, 1999). En la figura 4d se observa que la onda de marea se desplaza hacia el norte adyacente a la costa de Sonora y se propaga hacia el oeste cerca de la cabeza, con un desfase de 7 horas ($\sim 202^\circ$).

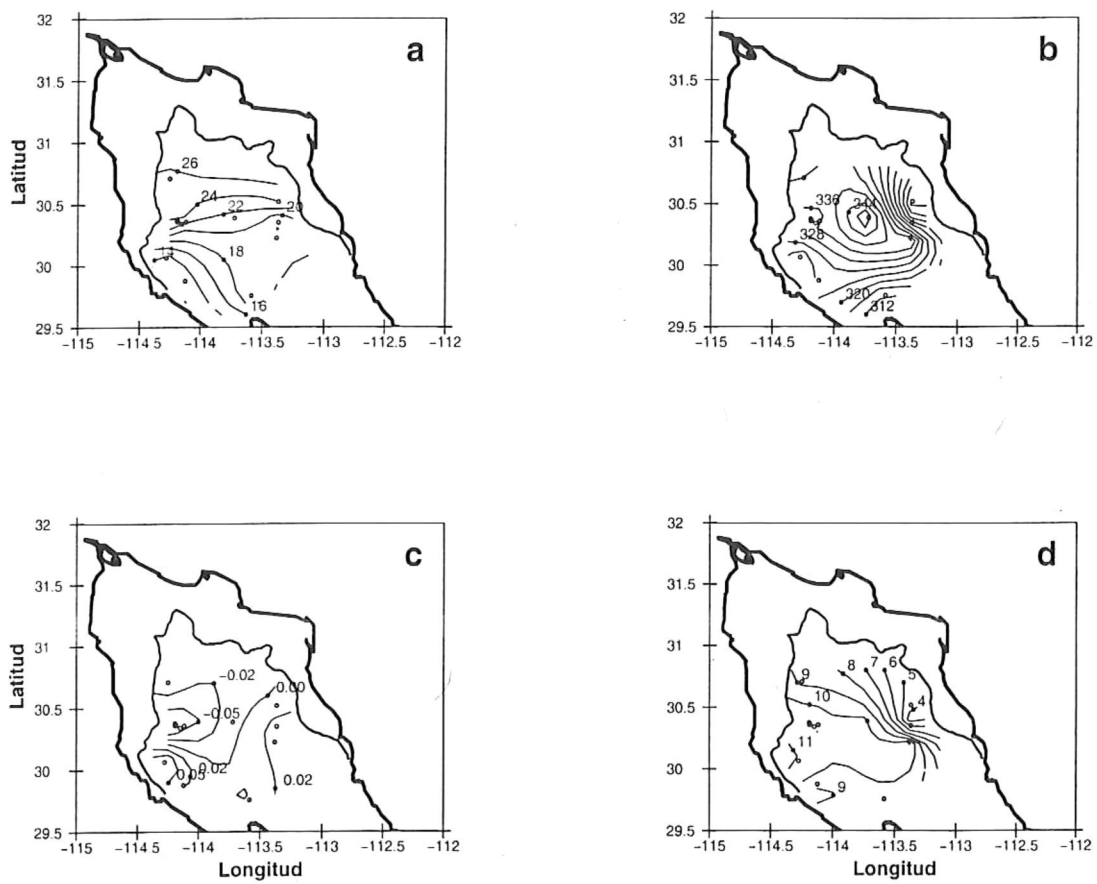


Figura 4. *Idem* Figura 3, para la profundidad de 60 a 150 m.

III.2 Componente semidiurna S_2

El comportamiento de la componente S_2 es similar al de la componente semidiurna M_2 . La componente tiene magnitudes del orden de 20 cm s^{-1} . Las velocidades más intensas se registraron en corrientímetros localizados al noreste de Cuenca Delfín y al norte de Cuenca Wagner (Tulipán 12 m, 25 cm s^{-1}), mientras que las velocidades más débiles se registraron en aquellos corrientímetros situados en Cuenca Delfín y al este de la misma (Margarita 240 m, 6 cm s^{-1}).

La inclinación del semieje mayor presenta una pequeña desviación hacia el este ($\sim 10^\circ$) del eje longitudinal del golfo, con la excepciones de Karla (15m), Tere III (21 m), Ana III (20 m) y Ana IV (20 m) (figura 5a), Popi (69 m) y Laura (52 m) (figura 5c), Susana (91 m) (figura 5d), Ana (107 m) y Margarita (120 m) (figura 5e) y Tere III (160 m) (figura 5f) donde el eje de la elipse está desviado al oeste del eje longitudinal del golfo. En el último nivel ambas elipses se encuentran alineadas al eje longitudinal del golfo.

Al igual que en la componente M_2 , los valores de excentricidad son en su mayoría cercanos a cero, sin embargo en las figuras 5a y 5b se observan excentricidades mayores que 0.2.

El sentido de giro ciclónico se localiza principalmente en corrientímetros situados en la parte central de la RNGC y frente a la costa de Sonora, mientras que el sentido de giro anticiclónico esta ubicado frente a la costa de Baja California. En el primer y sexto nivel

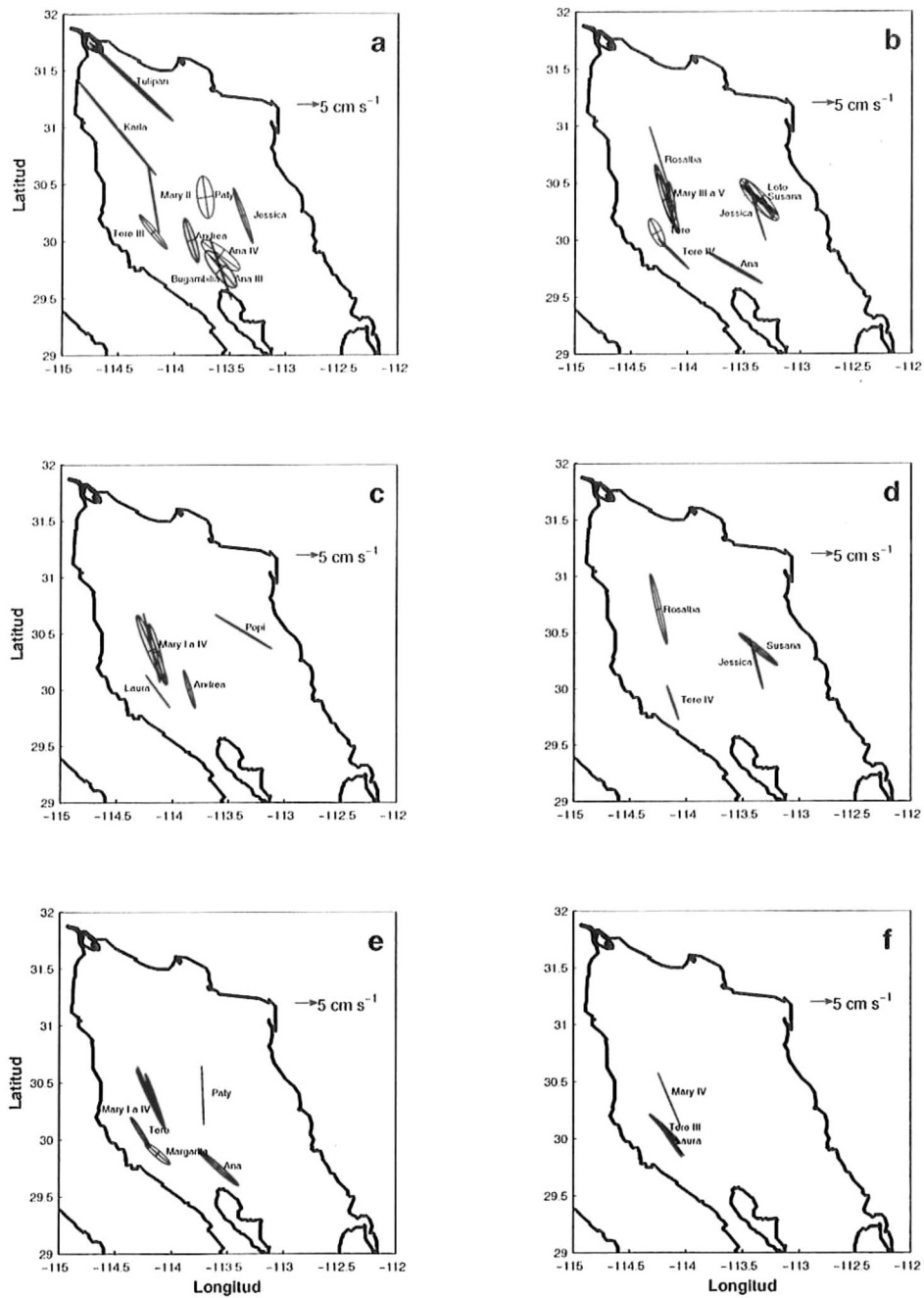


Figura 5. Elipses de marca para la componente semidiurna S_2 (a) 0-25 m, (b) 25-50 m, (c) 50-75 m, (d) 75-100 m, (e) 100-150 m y (f) 150-200m. Las elipses de color rojo representan sentido de giro ciclónico (+) y las elipses de color azul anticiclónico (-).

de profundidad (figura 5a y 5f) predomina el sentido de giro ciclónico, mientras que en el segundo (figura 5b), quinto (figura 5e) y último nivel predomina el sentido de giro anticiclónico.

III.2.1 Contornos de amplitud, inclinación, excentricidad y fase de S_2

Al igual que con M_2 , se dibujaron contornos de amplitud del semieje mayor, inclinación, excentricidad de las elipses de marea y desfase con respecto al meridiano de Greenwich.

Los contornos de amplitud del semieje mayor de 0 a 60 m se muestran en la figura 6a. Se puede observar que en 30° N y 114° W hay un mínimo de 8 cm s^{-1} que aumenta hacia el Alto Golfo de California hasta una magnitud de 26 cm s^{-1} . Este comportamiento es similar al presentado por Beier (1999), quien reporta un mínimo menor que 10 cm s^{-1} en la misma zona y máximos hacia el Alto Golfo de California ($\sim 28 \text{ cm s}^{-1}$). En esta misma capa, los contornos de inclinación del semieje mayor (figura 6b), indican que en el Alto Golfo de California los semiejes se desvían hacia el oeste del eje longitudinal del golfo, mientras que de Cuenca Wagner a Cuenca Delfín se desvían al este formando círculos concéntricos similares a los observados en M_2 . La simulación numérica realizada por Beier (1999) presenta un mínimo en la parte central de la RNGC, pero las observaciones demuestran que esto no sucede, es decir, no aumenta hacia la costa en círculos concéntricos, sino que se presentan varios máximos y mínimos de la inclinación

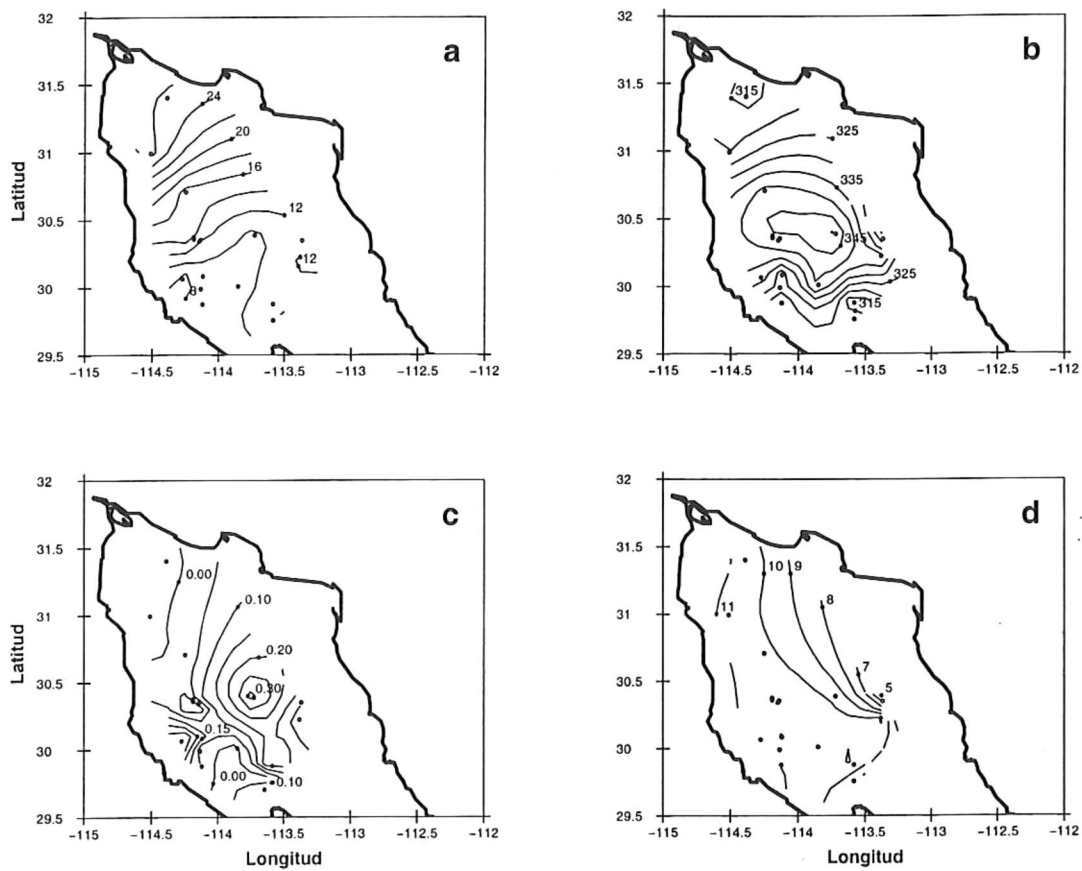


Figura 6. *Idem* Figura 3, para la componente semidiurna S_2 de 0 a 60 m.

del semieje mayor. Los contornos de excentricidad (figura 6c) muestran un sentido de giro ciclónico presente en la RNGC, donde hay máximos de 0.20 y 0.30. Al norte de la Isla Angel de la Guarda se presenta un máximo de 0.10 (sentido de giro anticiclónico), valor que se observa también en los resultados de Beier (1999). Los contornos de la distribución del desfase S_2 (figura 6d) muestran que la onda de marea se desplaza hacia el noroeste por la costa de Sonora, con un desfase de 7 horas ($\sim 210^\circ$).

En la capa inferior de 60 a 150 m (figura 7a), la amplitud del semieje mayor al sur de la RNGC es de 7 cm s^{-1} y se incrementa hacia la cabeza del golfo. La inclinación del semieje mayor en esta misma capa (figura 7b), muestra que al sur de Cuenca Delfín el semieje mayor se desvía al oeste del eje longitudinal del golfo y en el norte las elipses manifiestan un desvío hacia el este. La figura 7c se muestra que los valores de excentricidad son menores que 0.2, lo cual indica que las elipses de marea tienden a ser rectilíneas con sentido de giro anticiclónico en Cuenca Delfín, con un máximo de 0.1 hacia la costa de Baja California y con disminución hacia el centro de la RNGC. En Cuenca Wagner existe un máximo de excentricidad de 0.05 (sentido de giro ciclónico) mientras que al noreste de Isla Angel de la Guarda el sentido de giro es anticiclónico. La distribución del desfase se muestra en la figura 7d, donde se puede apreciar que la onda de marea se desplaza hacia el noroeste sobre la costa de Sonora, con un desfase de 6 horas ($\sim 180^\circ$). Se encontró que el comportamiento de la S_2 interna es similar al de M_2 interna, pero con amplitudes menores. Esto también fue observado por Beier (1999).

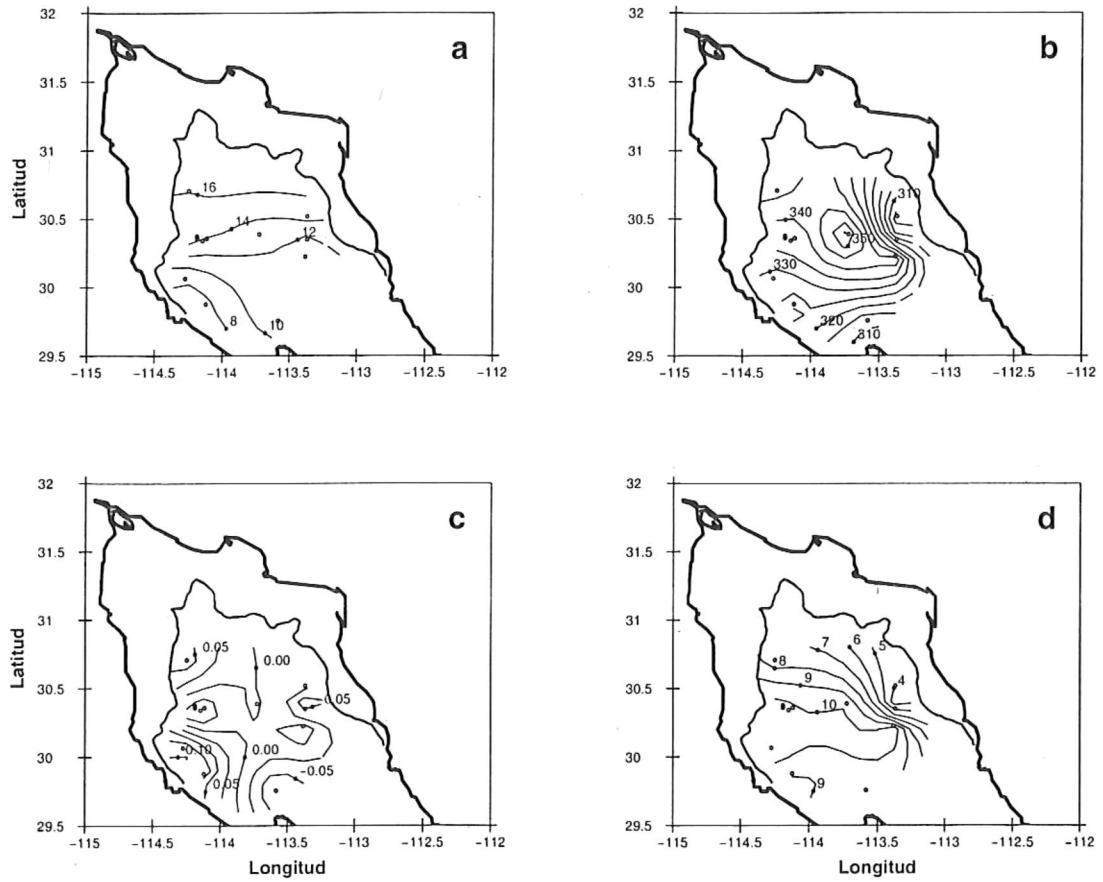


Figura 7. *Idem* Figura 6, de 60 a 150 m.

III.3 Componentes diurnas K_1 y O_1

La componente diurna K_1 (figura 8) presenta un comportamiento diferente a las componentes semidiurnas. En general, las amplitudes del semieje mayor ($\sim 5 \text{ cm s}^{-1}$) son menores que las semidiurnas. La inclinación del semieje mayor tiende a orientarse hacia el eje longitudinal del golfo, pero presenta mayor variabilidad en la dirección que las componentes semidiurnas. La excentricidad alcanza valores cercanos a 1 lo que indica que las elipses de marea tienden a ser circulares (con excepción del Alto Golfo) con sentido de giro anticiclónico.

La componente diurna O_1 (figura 9) presenta un comportamiento similar a K_1 . La componente diurna O_1 es menos energética ($\sim 2 \text{ cm s}^{-1}$). La inclinación indica que las elipses tienden a orientarse al eje longitudinal del golfo, pero presenta mayor variabilidad que la mostrada para la componente K_1 . Al igual que en K_1 las excentricidades son cercanas a 1 (excepto en el Alto Golfo) y el sentido de giro predominante es el anticiclónico. Las elipses de mareas de las componentes diurnas presentan características de ondas de Poincaré a frecuencias inerciales. A estas latitudes la frecuencia inercial ($w_i = f/2\pi = 0.04102 \text{ cph}$, donde $f = 2\Omega \sin\phi$ es el parámetro de Coriolis, con $\Omega = 7.29 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ y ϕ la latitud) es similar a la frecuencia diurna de la marea. Las características de las frecuencias inerciales son: trayectorias circulares y sentido de giro anticiclónico (Gill, 1982).

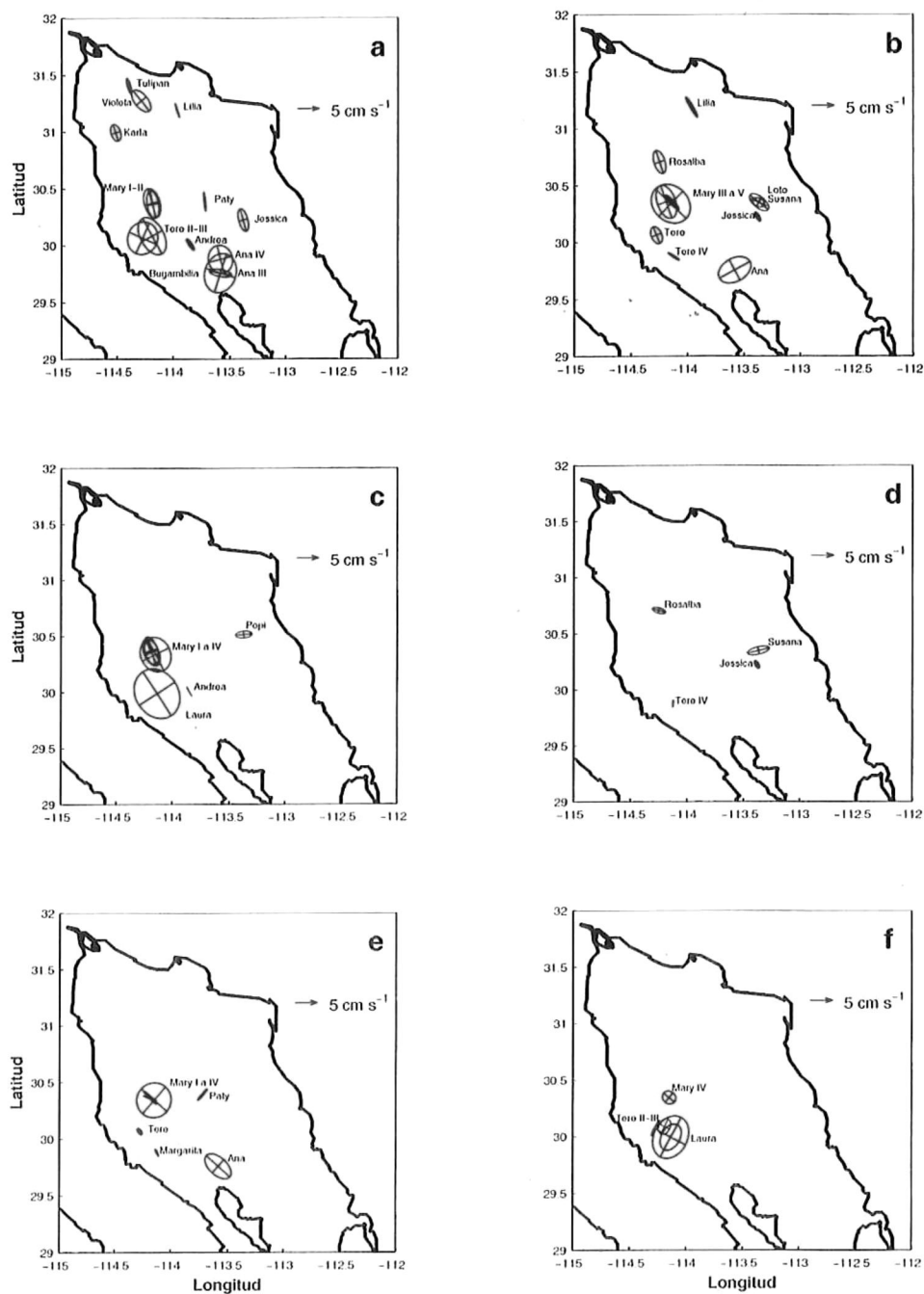


Figura 8. Elipses de marea para la componente diurna K_1 (a) 0-25 m, (b) 25-50 m, (c) 50-75 m, (d) 75-100 m, (e) 100-150 m y (f) 150-200m. Las elipses de color rojo representan sentido de giro ciclónico (+) y las elipses de color azul anticiclónico (-).

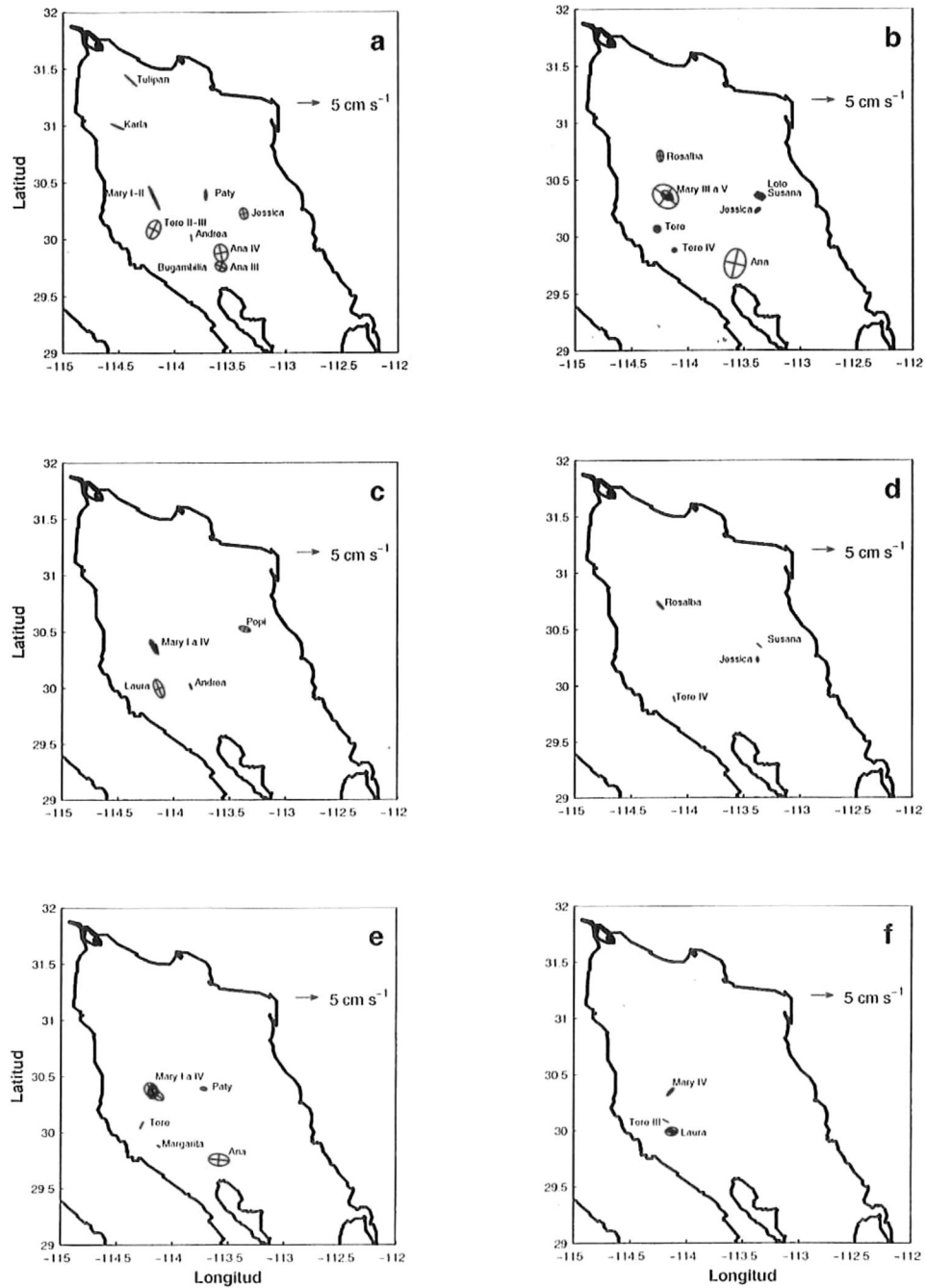


Figura 9. Elipses de marea para la componente diurna O_1 (a) 0-25 m, (b) 25-50 m, (c) 50-75 m, (d) 75-100 m, (e) 100-150 m y (f) 150-200m. Las elipses de color rojo representan sentido de giro ciclónico (+) y las elipses de color azul anticiclónico (-).

III.3.1 Contornos de amplitud y fase de K_1 y O_1

Los resultados obtenidos en este trabajo solo pueden compararse con estudios de marea barotrópica (Morales-Pérez y Gutiérrez de Velasco, 1989; Marinone y Lavín, 1997). En dichos trabajos se indica que la amplitud aumenta desde la Isla Angel de la Guarda hacia el Alto Golfo con un desfase de ~ 8 min., mientras que en el presente trabajo la amplitud en la primera (figuras 10a – 10c) y segunda capa (figuras 11a – 11c) presenta un comportamiento irregular y el desfase puede ser mayor de 12 horas para ambas capas (figuras 10b, 10d, 11b y 11d). Esto sugiere que el comportamiento de la onda de marea diurna tiene una componente baroclínica importante.

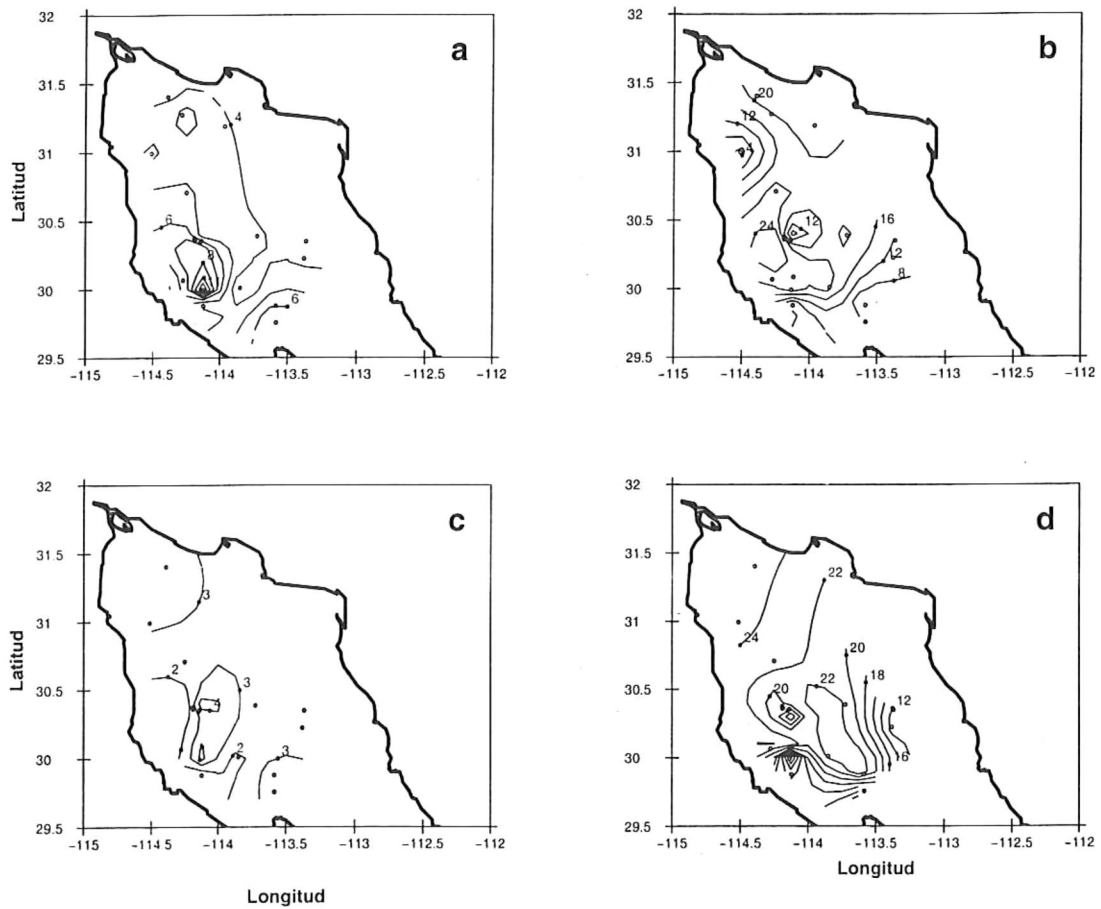


Figura 10. Contornos de 0 a 60 m (a) amplitud del semieje mayor (cm s⁻¹) de la componente diurna K₁, (b) desfase (horas) de la componente diurna K₁, (c) amplitud del semieje mayor (cm s⁻¹) de la componente diurna O₁ y (d) desfase (horas) de la componente diurna O₁.

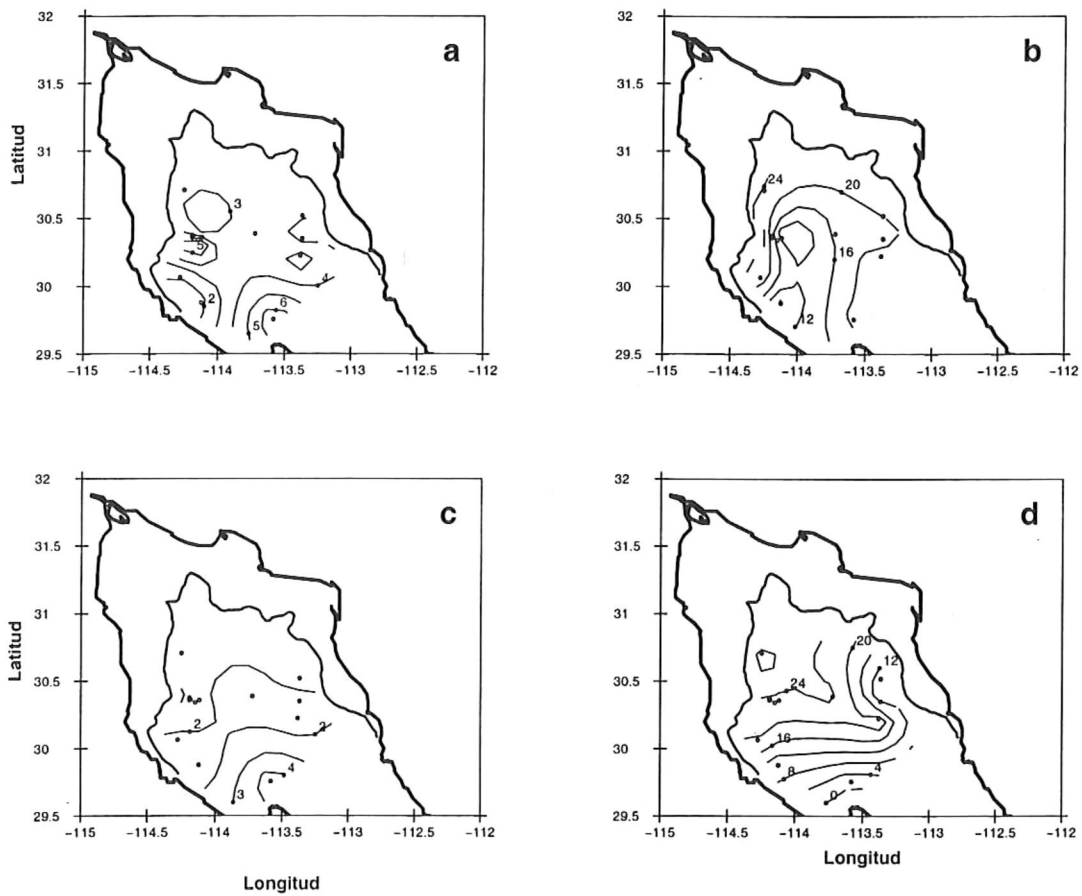


Figura 11. *Idem* Figura 10, de 60 a 150 m.

III.4 Componente cuartidiurna M_4

La componente cuartidiurna M_4 no figura entre las frecuencias naturales dominantes de la marea en el Golfo de California (Filloux, 1973) y en todos los niveles (figura 12) se encontraron velocidades muy pequeñas ($\sim 2 \text{ cm s}^{-1}$). Estos valores son menores a los reportados por Turrent-Thompson (1996). La inclinación del semieje mayor se desvía en forma predominante hacia el este del eje longitudinal del golfo y no presenta un comportamiento homogéneo. El sentido de giro de las elipses de marea y la excentricidad presentan el mismo comportamiento que las componentes diurnas ($\epsilon \sim 1$ y sentido de giro anticiclónico). Turrent-Thompson (1996) obtiene un comportamiento similar y concluye que, a esta frecuencia, las oscilaciones parecen estar asociadas casi exclusivamente a una estructura vertical baroclínica.

En el presente trabajo no se realizaron contornos puesto que no existen resultados contra los cuales compararlos. Debe mencionarse, sin embargo, que el desfase encontrado en los resultados para esta componente es de ~ 6 horas.

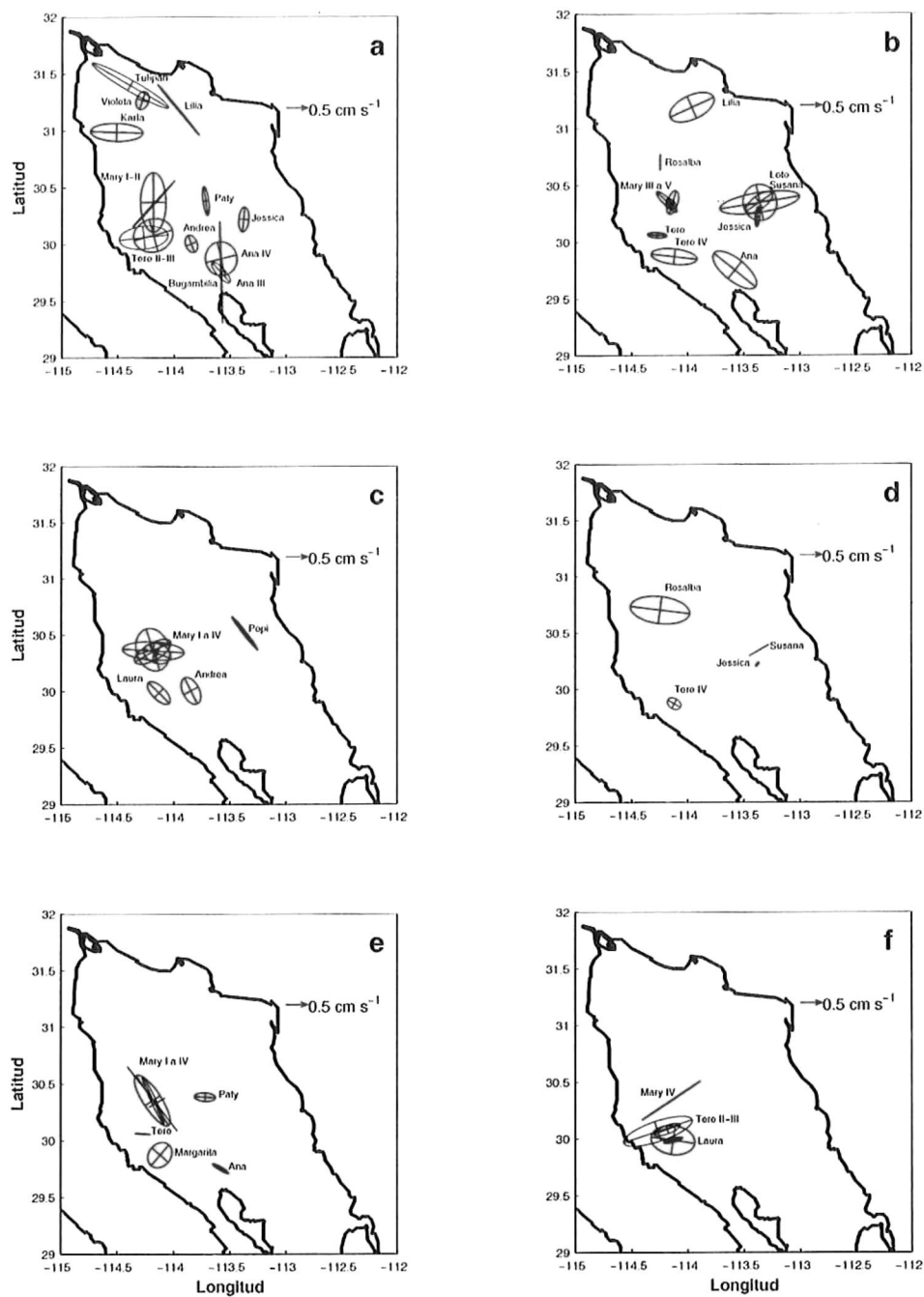


Figura 12. Elipses de marea para la componente cuartidiurna M_4 (a) 0-25 m, (b) 25-50 m, (c) 50-75 m, (d) 75-100 m, (e) 100-150 m y (f) 150-200m. Las elipses de color rojo representan sentido de giro ciclónico (+) y las elipses de color azul anticiclónico (-).

III.5 Efecto de la estratificación en las componentes de la marea

La RNGC presenta una estratificación mucho menos marcada en invierno que en verano. El anclaje Tere IV tiene series de tiempo que cubren ambos periodos a dos profundidades (50 y 100 m). Para estudiar el efecto de estratificación se eligieron los registros de enero del 96 y septiembre del 95, representativos de invierno y verano respectivamente. La termoclina observada en datos de CTD cerca del anclaje para invierno se encuentra ~32 m. de profundidad, y para el verano se encuentra una termoclina muy marcada a ~75 m. y dos menos marcadas a ~16 y ~26 m. Este anclaje se encuentra localizado en la región estratificada del frente, ya que este se encuentra en invierno en la isobata de 30 m. y en verano en la de 60m. (Argote *et al.*, 1995).

III.5.1 Componente semidiurna M_2

Los resultados encontrados para la componente semidiurna M_2 (Tabla IV) a 50 m indican que la amplitud de invierno (18 cm s^{-1}) es menor a la de verano (19 cm s^{-1}). Sin embargo, a 100 m de profundidad el resultado es opuesto (14 cm s^{-1} en invierno y 11 cm s^{-1} en verano). La inclinación del semieje mayor presenta cambios significativos entre ambas profundidades y estaciones. Debe resaltarse que en invierno la diferencia de inclinación entre los 50 m y los 100 m es de $\sim 40^\circ$, mientras que en verano es de $\sim 14^\circ$. Para ambas profundidades el sentido de giro es ciclónico en invierno y anticiclónico en verano. Las elipses de marea son más rectilíneas en invierno que en verano.

Los resultados antes descritos muestran la posible presencia de una contribución baroclínica a la amplitud puesto que ésta varía con el tiempo. Se encontró que la amplitud del semieje mayor e inclinación de la serie completa tienen un comportamiento similar al del invierno, sin embargo difieren con respecto al sentido de giro, el cual es similar al de verano.

Tabla IV. Resultados del análisis armónico de la componente semidiurna M_2 para invierno, verano y serie completa del corrientímetro Tere IV.

| Periodo | Profundidad | M (cm s^{-1}) | m (cm s^{-1}) | Inclinación (azimutal) | Desfase (horas) | Excentricidad (ϵ) |
|----------|-------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------------|
| Invierno | 50 | 17.967 | 0.545 | 154.7 | 12.36 | 0.030 |
| Invierno | 100 | 14.344 | 1.011 | 113.8 | 5.33 | 0.070 |
| Verano | 50 | 19.070 | -1.322 | 120.5 | 11.42 | -0.069 |
| Verano | 100 | 10.814 | -2.206 | 106.6 | 5.84 | -0.203 |
| Completa | 50 | 17.875 | -1.061 | 137.7 | 11.79 | -0.059 |
| Completa | 100 | 12.899 | -0.532 | 112.1 | 5.51 | -0.041 |

III.5.2 Componente semidiurna S_2

La componente semidiurna S_2 (Tabla V) presenta el mismo comportamiento que M_2 pero con valores más pequeños en la amplitud. Se observó que la amplitud del semieje mayor y el sentido de giro de la serie completa tienen un comportamiento similar al encontrado en verano. Se debe mencionar que al igual que en la componente M_2 existe variabilidad temporal en la amplitud.

Tabla V. Resultados del análisis armónico de la componente semidiurna S_2 para invierno, verano y serie completa del corrientímetro Tere IV.

| Periodo | Profundidad | M (cm s^{-1}) | M (cm s^{-1}) | Inclinación (azimutal) | Desfase (horas) | Excentricidad (ϵ) |
|----------|-------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------------|
| Invierno | 50 | 7.809 | 0.076 | 147.3 | 11.88 | 0.009 |
| Invierno | 100 | 9.091 | 1.562 | 112.1 | 5.48 | 0.171 |
| Verano | 50 | 11.530 | -1.173 | 119.2 | 10.72 | -0.101 |
| Verano | 100 | 6.612 | -1.060 | 110.9 | 5.52 | -0.160 |
| Completa | 50 | 9.423 | -0.495 | 136.0 | 11.08 | -0.052 |
| Completa | 100 | 7.920 | -0.183 | 108.6 | 5.45 | -0.023 |

III.5.3 Componente diurna K_1

La componente diurna K_1 (Tabla VI) presenta amplitudes de 2 cm s^{-1} en ambas profundidades en invierno, mientras que en verano hay un aumento de amplitud muy marcado a 50 m. Existe una muy marcada diferencia en las inclinaciones de los semiejes en invierno ($\sim 90^\circ$), lo que no ocurre durante el verano ($\sim 20^\circ$). El sentido de giro es anticiclónico en invierno para ambas profundidades, mientras que en verano el sentido de giro a los 50 m es anticiclónico y a los 100 m es ciclónico. Los valores de excentricidades en invierno son menores a los de verano, lo que indica que en verano las elipses de marea tienden a ser circulares, mientras que en invierno tienden a ser rectilíneas.

Los resultados de la serie completa, muestran una amplitud y sentido de giro similar a la de invierno. Se debe mencionar que ésta solo incluye 1 mes de datos durante el verano, lo cual puede influir para que el resultado sea similar a las condiciones de invierno. Sin embargo, hay variabilidad temporal al igual que en las componentes semidiurnas.

Tabla VI. Resultados del análisis armónico de la componente diurna K_1 para invierno, verano y serie completa del corrientímetro Tere IV.

| Periodo | Profundidad | M (cm s^{-1}) | m (cm s^{-1}) | Inclinación (azimutal) | Desfase (horas) | Excentricidad (ϵ) |
|----------|-------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------------|
| Invierno | 50 | 2.717 | -0.824 | 158.3 | 21.17 | -0.303 |
| Invierno | 100 | 2.363 | -0.167 | 66.2 | 16.17 | -0.070 |
| Verano | 50 | 11.599 | -3.439 | 153.1 | 3.34 | -0.296 |
| Verano | 100 | 2.868 | 2.217 | 173.8 | 12.98 | 0.773 |
| Completa | 50 | 2.897 | -0.285 | 146.5 | 1.20 | -0.098 |
| Completa | 100 | 1.396 | -0.056 | 85.6 | 14.39 | -0.040 |

III.5.4 Componente diurna O_1

La componente diurna O_1 (Tabla VII) tiene un comportamiento similar al de la componente diurna K_1 , con pequeñas diferencias. Se observa una gran variabilidad en la inclinación del semieje mayor en ambos períodos y el sentido de giro en verano es anticiclónico para ambas profundidades, sin embargo en invierno es anticiclónico a 50 m y ciclónico a 100 m.

Al igual que en la componente diurna K_1 , se observa una variabilidad temporal en la amplitud. Los resultados de la serie completa en amplitud y en sentido de giro son similares a los de invierno.

Tabla VII. Resultados del análisis armónico de la componente diurna O_1 para invierno, verano y serie completa del corrientímetro Tere IV.

| Periodo | Profundidad | M (cm s^{-1}) | m (cm s^{-1}) | Inclinación (azimutal) | Desfase (horas) | Excentricidad (ϵ) |
|----------|-------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------------|
| Invierno | 50 | 2.016 | -0.429 | 129.3 | 24.89 | -0.212 |
| Invierno | 100 | 2.687 | 0.332 | 72.6 | 13.70 | 0.123 |
| Verano | 50 | 8.472 | -5.794 | 83.9 | 12.30 | -0.683 |
| Verano | 100 | 1.712 | -0.179 | 38.9 | 18.26 | -0.104 |
| Completa | 50 | 1.060 | -0.756 | 22.3 | 12.50 | -0.713 |
| Completa | 100 | 1.322 | 0.145 | 106.0 | 14.24 | 0.109 |

III.5.5 Componente cuartidiurna M_4

La componente cuartidiurna M_4 (Tabla VIII) es de menor magnitud en invierno que en verano. Existe una gran diferencia en la inclinación del semieje mayor en ambas profundidades y en ambos periodos. El sentido de giro cambia de acuerdo al período. Al igual que las componentes semidiurnas el sentido de giro en invierno es ciclónico y en verano anticiclónico. La excentricidad no parece tener un comportamiento especial, aunque debe señalarse que en invierno la elipse componente de la marea a 50 m es rectilínea comparada con la de 100 m que tiende a ser circular. Durante el verano sucede lo contrario.

Al igual que las componentes semidiurnas y diurnas existe variabilidad en la amplitud de esta componente, esta es similar a la observada en verano, el sentido de giro no presenta un comportamiento que se pueda comparar con alguno de los dos periodos.

Tabla VIII. Resultados del análisis armónico de la componente cuartidiurna M_4 para invierno, verano y serie completa del corrientímetro Tere IV.

| Periodo | Profundidad | M (cm s^{-1}) | m (cm s^{-1}) | Inclinación (azimutal) | Desfase (horas) | Excentricidad (ϵ) |
|----------|-------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------------|
| Invierno | 50 | 0.430 | 0.047 | 143.7 | 1.58 | 0.109 |
| Invierno | 100 | 0.778 | 0.527 | 46.8 | 0.72 | 0.677 |
| Verano | 50 | 2.011 | -0.561 | 177.8 | 0.90 | -0.278 |
| Verano | 100 | 0.963 | -0.105 | 38.5 | 4.81 | -0.109 |
| Completa | 50 | 1.027 | -0.291 | 173.4 | 1.37 | -0.283 |
| Completa | 100 | 0.334 | 0.200 | 150.4 | 2.14 | 0.598 |

IV. DISCUSION

La hipótesis establecida sobre la existencia de un desfase del orden de horas debido a la marea interna, fue corroborada. Las componentes semidiurnas (M_2 y S_2) en la RNGC tienen un desfase de ~ 8 hrs, las diurnas (K_1 y O_1) de ~ 1 día y la cuartidiurna (M_4) de ~ 6 hrs. El sentido de giro de las elipses de marea de M_2 presenta una distribución superficial similar a la propagación de una onda en la cabeza de un canal (Taylor, 1921).

El desfase encontrado para las componentes de marea aquí estudiadas, no coincide con lo presentado en trabajos anteriores donde se menciona que es de ~ 1.5 hrs (Morales-Pérez y Gutiérrez de Velasco, 1989; Marinone y Lavín, 1997). Esto puede ser debido a la velocidad de propagación de la marea interna que la marea externa. Cuando la onda externa de la marea entra en un medio estratificado donde existen cambios topográficos bruscos (zona de las islas), genera modos internos de Kelvin y Poincaré evanescentes (Beier, 1999). Las longitudes de onda de los modos que se propagan tienen entre 80 y 200 km. (Beier, 1999). La respuesta del modo interno (baroclínico) al forzamiento externo (barotrópico) es local y sólo se ven deformaciones en la interfase. Turrent-Thompson (1996) menciona la presencia de mareas internas en sus registros, que coincide con los hallazgos encontrados en este trabajo.

La marea interna genera cortes importantes en el campo de velocidades. Esto se observó en las elipses de mareas en las componentes semidiurnas (M_2 y S_2), lo que sustenta que la marea interna únicamente se puede cuantificar en registros de corrientes.

Los valores de excentricidad encontrados en las componentes semidiurnas (M_2 y S_2) validan a los calculados por el modelo de dos capas de Beier (1999). La variabilidad horizontal del sentido de giro es una característica del modo interno, la cual se encontró en los resultados de este trabajo. El modelo baroclínico produce resultados similares a los descritos en este trabajo y estos son diferentes a los generados por un modelo barotrópico, esto es cuando se habla de corrientes de mareas.

El análisis del desfase de las componentes semidiurnas (M_2 y S_2) mostró la existencia de marea interna. Así mismo, la variabilidad temporal de la amplitud del semieje mayor en diferentes periodos de estratificación apoya la existencia de la misma.

El desfase obtenido en las componentes diurnas (K_1 y O_1) sugiere que el comportamiento de la onda de marea diurna tiene una componente baroclínica importante. Esto es justificado por la magnitud de las amplitudes del semieje mayor encontradas para estratificaciones diferentes, que muestran variabilidad temporal. Esta variabilidad también es una característica del modo interno.

El presente trabajo cuenta con una excelente base de datos de corrientímetros, sin embargo, los resultados son válidos solamente para este período de muestreo (noviembre de 1994 a febrero de 1996), pero con los datos previos descritos en trabajos de simulaciones numéricas (Beier, 1999) podría decirse que su aplicabilidad se extenderá dada la consistencia de resultados.

Para un mejor entendimiento de la marea interna es necesario que se lleven a cabo más estudios a partir de anclajes de corrientímetros en períodos con diferente grado de estratificación, para saber como la marea interna es influenciada por ésta.

El presente trabajo es el único con una serie de datos tan amplia que los modeladores podrían utilizarlos para calibrar sus modelos.

V. CONCLUSION

El desfase de 8 y 7 horas de las componentes semidiurnas M_2 y S_2 respectivamente, en la Región Norte del Golfo de California, es provocado por la marea baroclínica, que es el resultado del paso de la marea barotrópica sobre la zona de las islas.

Las componentes diurnas en la Región Norte del Golfo de California tienen una componente baroclínica importante que provoca un desfase de ~12 horas

VI. REFERENCIAS

- Argote, M. L., A. Amador y M. F. Lavín, 1995, Tidal dissipation and stratification in the Gulf of California, *J. Geophys. Res.*, **100**, 16103-16118.
- Baines, P. G., 1986, Internal tides, internal waves, and near-inertial motions, En *Baroclinic Processes on Continental Shelves*, Editado por C. N. K. Mooers. American Geophysical Union.
- Bray, N. A., 1988a, Thermohaline circulation in the Gulf de California, *J. Geophys. Res.*, **93**, 4993-5020
- Beier, E. 1997, A numerical investigation of the annual variability of the Gulf of California, *J. Phys. Oceanogr.*, **27**, 615-632.
- Beier, E. y P. Ripa, 1999, Seasonal gyres in the Northern Gulf of California. *J. Phys. Oceanog.* **29**:305-311.
- Beier, E., 1999, Estudio de la marea y la circulación estacional en el Golfo de California mediante un modelo de dos capas heterogéneas, *Tesis de doctorado*, CICESE, Ensenada, B. C., 135 p.
- Carbajal, N., 1993, Modelling of the circulation in the Gulf of California, *Tesis doctoral*, Universidad de Hamburgo, Alemania, 186 p.
- Carrillo-Bibriezca, L., 1996, Circulación geostrófica en la región norte del Golfo de California, *Tesis de maestría*, CICESE, Ensenada, B. C., 54 p.
- Carrillo-Bibriezca, L. y M. F. Lavín, 1999, Seasonal evolution of the geostrophic circulation in the Northern Gulf of California, (enviado a *J. Geophys. Res.*).
- De León, A. y P. Ripa, 1987, Hacia un entendimiento de la marea en el Golfo de California, in *Memorias de la Reunión Anual*, edited by J. González, F. Medina, M. Romo and M. Martínez, pp. 206-213, Unión Geofís. Mex., México City, Mex.
- Endeco (Enviromental Devices Corporation), 1986, Operations and Service Manual. Solid State Memory. Tethered Current Meter, Marion, Ma. USA.
- Filloux, J.H., 1973, Tidal patterns and energy balance in the Gulf of California, *Nature*, **243**, 217-221.
- Foreman, G. M., 1977, Manual for tidal heights analysis and prediction, *Pacific Marine Science*, Report 77-10, Institute of Ocean Sciences. Patricia Bay, Victoria, B. C., 97 p
- Foreman, G. M., 1978, Manual for tidal currents analysis and prediction, *Pacific Marine Science*, Report 78-6, Institute of Ocean Sciences. Patricia Bay, Victoria, B. C., 70 p

- Gill, A., 1982, *Atmosphere-Ocean Dynamics*, Academic Press.
- Godin, G. M., 1988. Tides. Centro de Estudios Científicos y de Educación Superior de Ensenada, Ensenada. Baja California, México. 290 p.
- Godin, G. M., 1993, On tidal resonance, *Cont. Shelf Res.*, **13**, 89-107.
- Grijalva, N., 1972, Tidal computation in the Gulf of California, *Geofís. Int.*, **12**, 13-34.
- Hendershott, M. C. y A. Speranza, 1971, Co-oscillating tides in long, narrow bay, *Deep Sea Res.*, **18**, 959-980.
- Huthnance, J. M. y P. G. Baines, 1982, Tidal currents in the Northwest African upwelling region, *Deep-Sea Res.*, **29**, 285-306.
- Marinone, S.G. y M. F.Lavín, 1997, Mareas y corrientes residuales en el Golfo de California, En M.F. Lavín, editor, *Contribuciones a la Oceanografía Física en México*, Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana, pp.113-139.
- Martínez-Sepulveda, M., 1994, Descripción de la profundidad de la capa mezclada superficialmente en el Golfo de California, *Tesis de licenciatura*, UABC, Ensenada, BC, pp 39
- Morales-Pérez, R.A. y G. Gutiérrez de Velasco, 1989, Mareas en el Golfo de California, *Geofís. Int.*, **28**, 25-46.
- Lavín, M. F., R. Durazo, E. Palacios, M. L. Argote y L. Carrillo, 1997, Lagrangian observations of the circulation in the Northern Gulf of California, *J. Phys. Oceanogr.*, **27**, 2298-2305.
- López-Bogórquez, J. M., 1996, Hidrografía y dinámica del Pacífico transicional mexicano, *Tesis de Maestría*, Centro de Investigación y Estudios Superiores de Ensenada, Ensenada, B. C., México.
- Palacios-Hernández, E., M.F. Lavín-Peregrina, S. Sánchez-Mancilla, V. Godínez-Sandoval.,1997, Campañas oceanográficas y datos de corrientímetros en la Región Norte del Golfo de California 1994-1996, Informe técnico comunicaciones Académicas, Serie Oceanografía Física, CICESE. 91 p. CTOFT9701
- Palacios-Hernández, E., E. Beier, M. F. Lavín y P. Ripa, 2000, The effect of winter mixing on the circulation of the Northern Gulf of California, Enviado a *J. Phys. Oceanogr.*
- Quiros, G., A. Badan-Dangon y P. Ripa, 1992, M_2 currents and residual flow in the Gulf of California, *Neth. J. Sea Res.*, **28**, 251-259.
- Ripa, P. y G. Velázquez, 1993, Modelo unidimensional de la marea en el Golfo de California, *Geofís. Int.*, **32**, 41-56.
- Robles-Pacheco, J.M., García-Córdova, M.F. Lavín-Peregrina y M.L. Argote-Espinoza, 1992, Observaciones eulerianas de corrientes y temperatura en el Golfo de Tehuantepec: Diciembre de 1988/Enero de 1989, Reporte de datos. Comunicaciones académicas, serie Oceanografía Física, CICESE. 48 p. CIOFR9205
- Roemmich, D., 1983, Optimal estimation hydrographic station data and derived fields, *J. Phys. Oceanogr.*, **13**, 1544-1549.

- Salas-Pérez, J. J., 1996, El intercambio de agua sobre los umbrales del golfo de California, *Tesis de Maestría*, Centro de Investigación y Estudios Superiores de Ensenada, Ensenada, B. C., México.
- Stock, G. G., 1976, Modelling of tides and tidal dissipation in the Gulf of California. Ph. D. Thesis. Scripps Inst. Oceanogr. Univ. Calif. San Diego. 102 p.
- Taylor, G. I., 1921, Tidal oscillations in gulfs and rectangular basins, *Proc. London Math. Soc.*, **20**, 148-181.
- Turrent-Thompson, C., 1996, Análisis estadístico de observaciones de corrientes y temperatura en la parte norte del Golfo de California, *Tesis de Licenciatura*, Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, Baja California, México.
- Wunsch, C., 1975, Internal tides in the ocean, *Rev. Geophy. Space Phys.*, **13**, 167-182.

VII. ANEXO

Tabla AI. Resultados del análisis armónico de la componente semidiurna M_2 .

| Anclaje | Profundidad | M (cm s^{-1}) | m (cm s^{-1}) | Inclinación (azimutal) | Desfase (horas) | Excentricidad (ϵ) |
|------------|-------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------------|
| Lilia | 19/52 | 28.998 | 2.065 | 116.2 | 10.59 | 0.072 |
| | 29/52 | 35.167 | 0.902 | 120.9 | 10.91 | 0.186 |
| Mary | 21/150 | 27.066 | -5.053 | 103.2 | 10.80 | -0.186 |
| | 60/150 | 29.101 | -5.045 | 107.6 | 21.15 | -0.173 |
| | 120/150 | 28.796 | -0.641 | 115.9 | 11.29 | -0.022 |
| Mary II | 21/150 | 24.395 | -3.087 | 105.6 | 10.60 | -0.126 |
| | 60/150 | 25.632 | -2.764 | 110.5 | 10.45 | -0.107 |
| | 120/150 | 24.795 | -1.688 | 115.9 | 10.92 | -0.068 |
| Paty | 25/150 | 15.271 | 4.666 | 98.1 | 10.16 | 0.305 |
| | 120/150 | 21.259 | 0.192 | 96.4 | 10.32 | 0.009 |
| Rosalba | 28/95 | 24.716 | -1.691 | 111.0 | 10.60 | -0.068 |
| | 85/95 | 24.703 | -0.028 | 110.0 | 8.74 | -0.001 |
| Andrea | 20/397 | 16.361 | -2.064 | 109.5 | 10.55 | -0.126 |
| | 57/397 | 14.000 | -1.183 | 108.8 | 10.36 | -0.085 |
| Tere II | 21/199 | 16.443 | 1.077 | 122.9 | 11.30 | 0.065 |
| | 170/199 | 20.333 | 0.896 | 122.2 | 5.09 | 0.044 |
| Violeta | 22/44 | 9.793 | -2.482 | 129.0 | 11.12 | -0.253 |
| Karla | 15/31 | 32.991 | -0.066 | 129.7 | 11.00 | -0.002 |
| Tere III | 21/297 | 15.855 | 2.009 | 112.0 | 10.60 | 0.126 |
| | 160/297 | 14.231 | 0.145 | 133.9 | 4.47 | 0.010 |
| Mary III | 28/157 | 24.684 | -2.846 | 106.2 | 10.52 | -0.115 |
| | 67/157 | 26.881 | -3.637 | 111.9 | 10.24 | -0.135 |
| | 127/157 | 22.728 | -1.928 | 116.2 | 10.30 | -0.084 |
| Popi | 69/105 | 24.416 | 0.190 | 149.3 | 4.31 | 0.007 |
| Tere | 39/200 | 11.051 | 3.024 | 114.8 | 10.68 | 0.273 |
| | 120/200 | 12.797 | 1.187 | 129.8 | 11.12 | 0.092 |
| Susana | 32/147 | 15.635 | -1.301 | 138.4 | 4.20 | -0.083 |
| | 91/147 | 17.256 | -0.701 | 138.1 | 2.96 | -0.040 |
| Mary IV | 44/208 | 11.911 | -0.323 | 98.5 | 10.28 | -0.027 |
| | 54/208 | 19.891 | -0.070 | 107.0 | 9.44 | -0.035 |
| | 134/208 | 20.327 | -0.614 | 111.3 | 9.76 | -0.030 |
| | 188/208 | 16.081 | -0.009 | 112.0 | 9.48 | -0.0005 |
| Laura | 52/297 | 14.769 | -0.078 | 126.5 | 10.96 | -0.005 |
| | 160/297 | 15.226 | 0.261 | 127.4 | 10.90 | 0.017 |
| | 180/297 | 14.520 | 0.135 | 120.9 | 10.73 | 0.009 |
| | 250/297 | 14.000 | -0.819 | 123.2 | 10.58 | -0.058 |
| Ana | 35/297 | 23.571 | 0.815 | 145.4 | 2.08 | 0.034 |
| | 107/297 | 19.826 | 0.089 | 139.5 | 9.58 | 0.004 |
| Tulipan | 12/20 | 44.691 | -1.137 | 135.1 | 11.17 | -0.025 |
| Loto | 35/55 | 21.219 | 5.088 | 137.0 | 4.78 | 0.239 |
| | 45/55 | 18.823 | 2.250 | 128.7 | 4.88 | 0.119 |
| Margarita | 120/340 | 12.859 | 0.976 | 134.4 | 12.04 | 0.075 |
| | 240/340 | 11.230 | -1.557 | 119.7 | 11.84 | -0.138 |
| Bugambilia | 17/40 | 26.055 | 0.113 | 113.7 | 11.54 | 0.004 |
| Ana III | 20/300 | 13.953 | 2.114 | 136.4 | 0.06 | 0.151 |
| Mary V | 50/205 | 20.043 | 1.090 | 105.9 | 11.50 | 0.054 |
| Tere IV | 50/304 | 17.875 | -1.061 | 137.7 | 11.79 | -0.059 |
| | 100/304 | 12.899 | -0.532 | 112.1 | 5.51 | -0.041 |
| Jessica | 20/145 | 22.426 | 0.237 | 109.8 | 12.03 | 0.010 |
| | 50/145 | 19.652 | 0.213 | 110.8 | 12.05 | 0.010 |
| | 85/145 | 18.848 | 0.652 | 108.0 | 11.24 | 0.034 |
| Ana IV | 20/300 | 17.457 | -4.098 | 147.7 | 11.69 | -0.234 |

Tabla AII. Resultados del análisis armónico de la componente semidiurna S₂.

| Anclaje | Profundidad | M (cm s ⁻¹) | m (cm s ⁻¹) | Inclinación (azimutal) | Desfase (horas) | Excentricidad (ε) |
|------------|-------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------|----------------------|
| Mary II | 21/150 | 15.099 | -0.212 | 99.7 | 10.29 | -0.014 |
| | 60/150 | 15.683 | -0.190 | 103.6 | 10.17 | -0.012 |
| | 120/150 | 14.443 | -0.303 | 113.7 | 10.61 | -0.020 |
| Paty | 25/150 | 9.356 | 3.168 | 98.8 | 9.79 | 0.338 |
| | 120/150 | 12.797 | 0.084 | 92.3 | 10.01 | 0.006 |
| Rosalba | 28/95 | 14.971 | 0.128 | 108.0 | 10.26 | 0.008 |
| | 85/95 | 16.056 | 1.067 | 103.4 | 7.38 | 0.066 |
| Andrea | 20/397 | 10.040 | -1.666 | 107.6 | 10.19 | -0.165 |
| | 57/397 | 8.806 | -0.856 | 107.2 | 9.82 | -0.097 |
| Karla | 15/31 | 26.750 | -0.314 | 130.1 | 10.56 | -0.011 |
| Tere III | 21/297 | 9.727 | 1.189 | 129.6 | 11.12 | 0.122 |
| | 160/297 | 9.231 | 0.746 | 137.1 | 4.47 | 0.080 |
| Mary III | 28/157 | 15.968 | -1.505 | 109.2 | 10.45 | -0.094 |
| | 67/157 | 16.761 | -1.829 | 113.3 | 10.18 | -0.109 |
| | 127/157 | 14.474 | -0.757 | 116.2 | 9.97 | -0.052 |
| Popi | 69/105 | 14.786 | -0.211 | 149.2 | 3.99 | -0.014 |
| Tere | 39/200 | 6.694 | 2.144 | 116.0 | 10.41 | 0.320 |
| | 120/200 | 7.983 | 0.818 | 122.8 | 10.60 | 0.102 |
| Susana | 32/147 | 10.407 | -0.744 | 140.8 | 4.17 | -0.071 |
| | 91/147 | 11.094 | -0.966 | 140.2 | 2.98 | -0.087 |
| Mary IV | 44/208 | 8.646 | -1.239 | 99.1 | 10.10 | -0.143 |
| | 54/208 | 12.812 | -1.518 | 105.1 | 9.93 | -0.118 |
| | 134/208 | 12.740 | -0.748 | 109.8 | 10.47 | -0.058 |
| | 188/208 | 12.558 | 0.096 | 112.8 | 10.12 | 0.007 |
| Laura | 52/297 | 8.852 | -0.060 | 126.6 | 10.47 | -0.006 |
| | 160/297 | 9.527 | 0.179 | 129.7 | 10.58 | 0.018 |
| | 180/297 | 8.819 | -0.579 | 123.0 | 10.48 | -0.065 |
| | 250/297 | 8.770 | -1.313 | 125.3 | 10.39 | -0.149 |
| Ana | 35/297 | 14.008 | -0.427 | 150.6 | 1.41 | -0.030 |
| | 107/297 | 12.011 | -1.029 | 139.4 | 9.27 | -0.085 |
| Tulipan | 12/20 | 25.415 | -0.674 | 137.3 | 10.84 | -0.026 |
| Loto | 35/55 | 12.103 | 2.908 | 132.6 | 4.52 | 0.240 |
| | 45/55 | 10.138 | 1.731 | 126.3 | 4.90 | 0.170 |
| Margarita | 120/340 | 7.224 | 1.319 | 139.7 | 11.82 | 0.182 |
| | 240/340 | 6.532 | -1.103 | 124.1 | 11.63 | -0.168 |
| Bugambilia | 17/40 | 14.319 | 0.297 | 110.3 | 11.15 | 0.020 |
| Ana III | 20/300 | 10.426 | -2.808 | 131.0 | 11.97 | -0.269 |
| Mary V | 50/205 | 12.103 | 1.272 | 107.6 | 11.12 | 0.105 |
| Tere IV | 50/304 | 9.423 | -0.495 | 136.0 | 11.08 | -0.052 |
| | 100/304 | 7.920 | -0.183 | 108.6 | 5.45 | -0.023 |
| Jessica | 20/145 | 12.921 | 0.911 | 109.9 | 11.27 | 0.070 |
| | 50/145 | 12.045 | 0.214 | 107.7 | 11.19 | 0.017 |
| | 85/145 | 11.577 | 0.367 | 104.6 | 10.85 | 0.031 |
| Ana IV | 20/300 | 10.728 | -2.738 | 143.6 | 11.21 | -0.255 |

Tabla AIII. Resultados del análisis armónico de la componente diurna K_1 .

| Anclaje | Profundidad | M (cm s^{-1}) | m (cm s^{-1}) | Inclinación (azimutal) | Desfase (horas) | Excentricidad (ϵ) |
|------------|-------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------------|
| Lilia | 19/52 | 3.179 | -0.161 | 108.6 | 22.53 | -0.050 |
| | 29/52 | 5.156 | -0.597 | 121.2 | 22.10 | -0.115 |
| Mary | 21/150 | 6.060 | -2.159 | 100.7 | 0.01 | -0.356 |
| | 60/150 | 5.556 | -2.545 | 105.5 | 0.23 | -0.458 |
| | 120/150 | 3.785 | -0.336 | 133.1 | 22.89 | -0.088 |
| Mary II | 21/150 | 6.656 | -2.982 | 106.2 | 23.12 | -0.448 |
| | 60/150 | 6.416 | -2.416 | 106.6 | 22.83 | -0.376 |
| | 120/150 | 3.511 | -0.346 | 137.9 | 23.80 | -0.098 |
| Paty | 25/150 | 4.100 | -0.271 | 96.1 | 21.75 | -0.066 |
| | 120/150 | 3.288 | -0.344 | 49.2 | 16.85 | -0.104 |
| Rosalba | 28/95 | 5.223 | -2.094 | 108.3 | 22.49 | -0.400 |
| | 85/95 | 3.077 | 1.040 | 164.0 | 23.83 | 0.337 |
| Andrea | 20/397 | 2.903 | -0.645 | 123.6 | 22.31 | -0.222 |
| | 57/397 | 2.167 | 0.040 | 118.5 | 22.74 | 0.018 |
| Tere II | 21/199 | 6.591 | -6.281 | 156.0 | 21.98 | -0.952 |
| | 170/199 | 3.900 | 0.476 | 92.6 | 15.58 | 0.122 |
| Violeta | 22/44 | 5.660 | -2.482 | 129.0 | 20.23 | -0.438 |
| Karla | 15/31 | 3.719 | -1.816 | 108.1 | 1.76 | -0.488 |
| Tere III | 21/297 | 8.935 | -4.445 | 118.7 | 23.75 | -0.497 |
| | 160/297 | 3.687 | 2.193 | 63.2 | 16.16 | 0.594 |
| Mary III | 28/157 | 7.572 | -3.468 | 109.6 | 23.14 | -0.458 |
| | 67/157 | 6.466 | -2.822 | 115.5 | 22.46 | -0.436 |
| | 127/157 | 3.147 | -0.160 | 158.6 | 3.02 | -0.050 |
| Popi | 69/105 | 3.789 | 1.277 | 5.0 | 20.22 | 0.337 |
| Tere | 39/200 | 3.913 | -2.010 | 112.5 | 22.29 | -0.513 |
| | 120/200 | 1.643 | 0.749 | 123.8 | 23.89 | 0.455 |
| Susana | 32/147 | 5.214 | 2.172 | 142.2 | 9.66 | 0.416 |
| | 91/147 | 5.053 | 1.421 | 13.4 | 16.69 | 0.281 |
| Mary IV | 44/208 | 9.408 | -6.595 | 136.2 | 22.60 | -0.700 |
| | 54/208 | 7.967 | -5.705 | 116.5 | 22.38 | -0.716 |
| | 134/208 | 7.788 | -6.531 | 49.2 | 18.92 | -0.838 |
| | 188/208 | 3.095 | -2.319 | 140.7 | 3.7 | -0.749 |
| Laura | 52/297 | 11.664 | -8.136 | 123.0 | 23.89 | -0.697 |
| | 160/297 | 9.820 | -6.342 | 62.3 | 23.11 | -0.645 |
| | 180/297 | 6.203 | -3.508 | 61.3 | 19.20 | -0.565 |
| | 250/297 | 3.276 | -1.305 | 28.9 | 15.80 | -0.398 |
| Ana | 35/297 | 7.683 | -4.409 | 28.4 | 16.31 | -0.573 |
| | 107/297 | 7.012 | -3.323 | 137.9 | 21.46 | -0.473 |
| Tulipan | 12/20 | 3.679 | 0.731 | 106.8 | 21.66 | 0.198 |
| Loto | 35/55 | 3.878 | 0.119 | 156.6 | 12.07 | 0.030 |
| | 45/55 | 2.944 | 1.502 | 154.5 | 12.08 | 0.510 |
| Margarita | 120/340 | 1.760 | 0.356 | 114.4 | 1.74 | 0.202 |
| | 240/340 | 1.896 | 0.604 | 124.8 | 0.95 | 0.318 |
| Bugambilia | 17/40 | 5.056 | -1.321 | 169.0 | 3.80 | -0.261 |
| Ana III | 20/300 | 8.752 | -5.975 | 72.3 | 11.77 | -0.682 |
| Mary V | 50/205 | 4.322 | -0.842 | 132.8 | 1.09 | -0.194 |
| Tere IV | 50/304 | 2.897 | -0.285 | 146.5 | 1.20 | -0.098 |
| | 100/304 | 1.396 | -0.056 | 85.6 | 14.39 | -0.040 |
| Jessica | 20/145 | 5.115 | -1.745 | 105.6 | 10.89 | -0.341 |
| | 50/145 | 2.335 | 0.780 | 121.4 | 11.87 | 0.334 |
| | 85/145 | 1.958 | 0.787 | 117.9 | 23.91 | 0.401 |
| Ana IV | 20/300 | 6.218 | -4.599 | 104.2 | 0.88 | -0.739 |

Tabla AIV. Resultados del análisis armónico de la componente diurna O_1 .

| Anclaje | Profundidad | M (cm s^{-1}) | m (cm s^{-1}) | Inclinación (azimutal) | Desfase (horas) | Excentricidad (ϵ) |
|------------|-------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------------|
| Mary | 21/150 | 5.642 | -0.390 | 115.1 | 0.07 | -0.069 |
| | 60/150 | 3.442 | -0.837 | 116.9 | 23.82 | -0.243 |
| | 120/150 | 3.128 | -1.590 | 85.5 | 24.71 | -0.508 |
| Mary II | 21/150 | 0.675 | 0.518 | 100.2 | 1.59 | 0.767 |
| | 60/150 | 0.761 | -0.159 | 107.3 | 24.93 | -0.208 |
| | 120/150 | 3.650 | -2.410 | 124.1 | 23.91 | -0.660 |
| Paty | 25/150 | 2.249 | -0.444 | 91.1 | 22.03 | -0.197 |
| | 120/150 | 1.526 | 0.773 | 170.4 | 25.38 | 0.506 |
| Rosalba | 28/95 | 2.565 | -1.199 | 93.6 | 22.77 | -0.467 |
| | 85/95 | 2.282 | -0.305 | 130.6 | 23.23 | -0.133 |
| Andrea | 20/397 | 1.497 | 0.076 | 96.5 | 22.76 | 0.050 |
| | 57/397 | 1.466 | 0.244 | 108.1 | 23.53 | 0.166 |
| Karla | 15/31 | 3.161 | -0.174 | 156.9 | 24.75 | -0.055 |
| Tere III | 21/297 | 4.276 | -2.517 | 64.4 | 23.61 | -0.588 |
| | 160/297 | 1.330 | -0.003 | 154.1 | 14.06 | -0.002 |
| Mary III | 28/157 | 2.809 | -1.619 | 146.9 | 23.76 | -0.576 |
| | 67/157 | 2.697 | -0.174 | 130.5 | 24.76 | -0.064 |
| | 127/157 | 1.833 | 0.860 | 100.0 | 23.73 | 0.469 |
| Popi | 69/105 | 2.767 | 1.041 | 162.7 | 9.4 | 0.389 |
| Tere | 39/200 | 1.597 | -1.294 | 132.6 | 25.73 | -0.810 |
| | 120/200 | 1.635 | -0.092 | 64.0 | 20.03 | -0.056 |
| Susana | 32/147 | 1.846 | 1.223 | 150.1 | 10.24 | 0.662 |
| | 91/147 | 1.315 | 0.100 | 137.5 | 8.89 | 0.076 |
| Mary IV | 44/208 | 1.355 | -0.315 | 129.5 | 4.93 | -0.232 |
| | 54/208 | 2.417 | 0.190 | 102.9 | 3.24 | 0.078 |
| | 134/208 | 4.107 | -1.633 | 144.9 | 20.98 | -0.397 |
| | 188/208 | 2.256 | -0.481 | 47.3 | 20.59 | -0.213 |
| Laura | 52/297 | 4.358 | -1.695 | 112.0 | 2.48 | -0.388 |
| | 160/297 | 2.784 | -1.531 | 4.8 | 7.38 | -0.549 |
| | 180/297 | 2.276 | -0.592 | 155.9 | 24.02 | -0.260 |
| | 250/297 | 1.048 | 0.859 | 157.4 | 1.73 | 0.819 |
| Ana | 35/297 | 6.544 | -4.108 | 77.0 | 0.34 | -0.627 |
| | 107/297 | 4.709 | -2.277 | 174.8 | 0.58 | -0.483 |
| Tulipan | 12/20 | 3.694 | -0.142 | 137.9 | 24.76 | -0.038 |
| Loto | 35/55 | 2.511 | 1.244 | 166.0 | 11.76 | 0.495 |
| | 45/55 | 2.392 | 0.812 | 124.7 | 12.36 | 0.339 |
| Margarita | 120/340 | 0.870 | 0.216 | 148.6 | 5.21 | 0.248 |
| | 240/340 | 1.050 | -0.388 | 88.5 | 1.39 | -0.369 |
| Bugambilia | 17/40 | 2.143 | 0.086 | 69 | 22.16 | 0.040 |
| Ana III | 20/300 | 2.750 | -1.687 | 155.7 | 4.55 | -0.613 |
| Mary V | 50/205 | 6.060 | -4.150 | 142.7 | 24.79 | -0.684 |
| Tere IV | 50/304 | 1.060 | -0.756 | 22.3 | 12.50 | -0.713 |
| | 100/304 | 1.322 | 0.145 | 106.0 | 14.24 | 0.109 |
| Jessica | 20/145 | 2.541 | -1.580 | 104.8 | 12.79 | -0.621 |
| | 50/145 | 1.559 | 0.721 | 42.8 | 8.28 | 0.462 |
| | 85/145 | 1.201 | 0.446 | 92.6 | 24.65 | 0.371 |
| Ana IV | 20/300 | 3.862 | -2.627 | 102.1 | 25.49 | -0.680 |

Tabla AV. Resultados del análisis armónico de la componente cuartidiurna M_4 .

| Anclaje | Profundidad | M (cm s^{-1}) | m (cm s^{-1}) | Inclinación (azimutal) | Desfase (horas) | Excentricidad (ϵ) |
|------------|-------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------------|
| Lilia | 19/52 | 1.444 | -0.024 | 129.9 | 2.05 | -0.016 |
| | 29/52 | 1.074 | -0.449 | 23.8 | 1.63 | -0.034 |
| Mary | 21/150 | 1.372 | 0.037 | 47.7 | 4.09 | 0.026 |
| | 60/150 | 1.355 | -0.352 | 176.5 | 1.62 | -0.259 |
| | 120/150 | 1.147 | 0.096 | 114.4 | 6.05 | 0.083 |
| Mary II | 21/150 | 1.312 | -0.483 | 90.3 | 3.32 | -0.368 |
| | 60/150 | 0.964 | -0.620 | 107.9 | 2.92 | -0.643 |
| | 120/150 | 1.771 | 0.009 | 127.7 | 0.35 | 0.005 |
| Paty | 25/150 | 0.641 | -0.110 | 97.9 | 0.34 | -0.171 |
| | 120/150 | 0.465 | -0.162 | 176.7 | 1.00 | -0.348 |
| Rosalba | 28/95 | 0.337 | -0.005 | 89.2 | 5.65 | -0.014 |
| | 85/95 | 1.331 | -0.517 | 172.8 | 5.24 | -0.388 |
| Andrea | 20/397 | 0.392 | -0.228 | 111.7 | 3.59 | -0.581 |
| | 57/397 | 0.640 | -0.318 | 117.3 | 2.64 | -0.496 |
| Tere II | 21/199 | 1.075 | 0.434 | 6.4 | 4.94 | 0.403 |
| | 170/199 | 1.609 | 0.384 | 18.3 | 1.60 | 0.238 |
| Violeta | 22/44 | 0.403 | -0.230 | 71.8 | 1.03 | -0.570 |
| Karla | 15/31 | 1.153 | -0.341 | 178.4 | 1.81 | -0.295 |
| Tere III | 21/297 | 0.876 | -0.627 | 15.4 | 6.16 | -0.715 |
| | 160/297 | 0.620 | 0.159 | 19.6 | 1.65 | 0.256 |
| Mary III | 28/157 | 0.624 | -0.318 | 135.3 | 2.19 | -0.221 |
| | 67/157 | 0.906 | -0.320 | 30.0 | 5.19 | -0.353 |
| | 127/157 | 1.311 | -0.343 | 122.9 | 6.17 | -0.261 |
| Popi | 69/105 | 0.938 | -0.062 | 127.8 | 4.65 | -0.066 |
| Tere | 39/200 | 0.431 | -0.101 | 176.1 | 2.84 | -0.234 |
| | 120/200 | 0.336 | 0.021 | 176.3 | 0.15 | 0.062 |
| Susana | 32/147 | 0.689 | -0.256 | 34.5 | 5.00 | -0.371 |
| | 91/147 | 0.491 | 0.008 | 29.8 | 6.05 | 0.016 |
| Mary IV | 44/208 | 0.308 | 0.145 | 135.3 | 6.16 | 0.470 |
| | 54/208 | 0.618 | -0.372 | 160.0 | 5.84 | -0.601 |
| | 134/208 | 0.402 | 0.010 | 30.0 | 3.64 | 0.024 |
| | 188/208 | 1.545 | -0.010 | 33.4 | 3.89 | -0.006 |
| Laura | 52/297 | 0.652 | -0.252 | 135.8 | 6.12 | -0.386 |
| | 160/297 | 0.979 | -0.547 | 171.6 | 0.76 | -0.558 |
| | 180/297 | 0.438 | -0.080 | 13.8 | 4.84 | -0.176 |
| | 250/297 | 0.480 | -0.226 | 131.3 | 3.48 | -0.470 |
| Ana | 35/297 | 1.188 | -0.419 | 141.1 | 5.23 | -0.352 |
| | 107/297 | 0.421 | -0.062 | 166.1 | 0.18 | -0.147 |
| Tulipan | 12/20 | 1.953 | 0.208 | 149.9 | 3.33 | 0.106 |
| Loto | 35/55 | 0.744 | -0.690 | 12.1 | 1.57 | -0.927 |
| | 45/55 | 1.789 | -0.374 | 8.8 | 1.79 | -0.209 |
| Margarita | 120/340 | 0.602 | -0.419 | 49.0 | 6.14 | -0.696 |
| | 240/340 | 0.542 | -0.10 | 179.9 | 0.27 | -0.018 |
| Bugambilia | 17/40 | 0.593 | 0.167 | 132.9 | 1.47 | 0.281 |
| Ana III | 20/300 | 2.220 | -0.014 | 91.7 | 1.26 | -0.006 |
| Mary V | 50/205 | 0.534 | -0.206 | 73.3 | 1.57 | -0.385 |
| Tere IV | 50/304 | 1.027 | -0.291 | 173.4 | 1.37 | -0.283 |
| | 100/304 | 0.334 | 0.200 | 150.4 | 2.14 | 0.598 |
| Jessica | 20/145 | 0.545 | -0.195 | 85.0 | 1.90 | -0.357 |
| | 50/145 | 0.443 | -0.096 | 85.5 | 2.25 | -0.216 |
| | 85/145 | 0.114 | -0.029 | 47.3 | 3.38 | -0.254 |
| Ana IV | 20/300 | 0.753 | -0.615 | 103.9 | 0.07 | -0.816 |