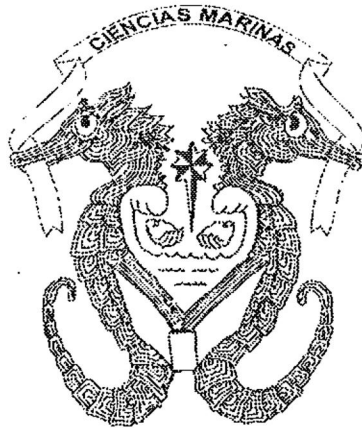




Universidad Autónoma de Baja California

Facultad de Ciencias Marinas

VARIACIÓN TEMPORAL DE LA CLOROFILA "a" EN  
DOS LOCALIDADES DEL ALTO GOLFO DE  
CALIFORNIA



Tesis que para obtener el  
título de Oceanólogo  
presenta:

Claudia Rivera Díaz

Ensenada, Baja California diciembre de 1998.

Facultad de Ciencias Marinas

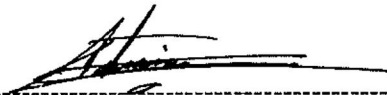
VARIACION TEMPORAL DE LA CLOROFILA "a" EN DOS  
LOCALIDADES DEL ALTO GOLFO DE CALIFORNIA

Tesis para obtener el titulo de Oceanólogo

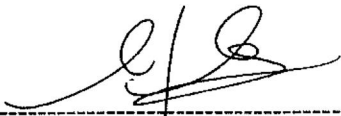
que presenta:

Claudia Rivera Díaz


Aprobada por:



Dr. Eduardo Santamaría del Angel  
Director de tesis



Dra. Elizabeth Orellana Cepeda  
Sinodal



Dr. Roberto Millán Núñez  
Sinodal

## DEDICATORIA

Con todo cariño a mis padres Irene y Carlos porque con su inmenso amor, apoyo y confianza de siempre este trabajo es suyo.

A mis hermanas:

Yolanda, Marcela, Lilia y Emilia.

A mis "casi" hermanos:

Jorge y Gil.

A los enanos:

Gibrán, Amaury, Ximena, Mary Fer, Omar y Mauricio.

Porque titularme era un compromiso con todos ustedes que me impulso a terminar y simplemente porque los quiero muchísimo.

## AGRADECIMIENTOS

A todas las personas e instituciones que colaboraron de alguna manera en la realización de este trabajo.

A la Facultad de Ciencias Marinas de la Universidad Autónoma de Baja California y al Proyecto CONACYT 4299P-T9607 por el apoyo técnico y económico necesarios para generar los datos de este estudio.

De manera especial a mi director Dr. Eduardo Santamaría del Angel por sus valiosas aportaciones y el interés demostrado, así como por su infinita paciencia, amistad y confianza en mi capacidad para terminar este trabajo.

A los sinodales Dra. Elizabeth Orellana Cepeda y Dr. Roberto Millán Núñez porque con sus interesantes comentarios y sugerencias ayudaron a enriquecer este trabajo.

A todos los maestros y compañeros de la carrera.

A "la-banda" de amigos: los de antes (Janette, Jorge y Rosy) y los de ahora (Oso, Billy, Erika, Juan, Ciris, Vero y Aida) porque sin ustedes no hubiera llegado hasta aquí y por hacerme sentir en las buenas y las malas que soy "cuaderno" y no "hoja-suelta".

A Alfonso Maya Munguía por su cariño y ayuda incondicionales.

A mi primo Rubén Díaz Ramírez por los buenos tiempos.

A la familia: Rivera-Díaz, Nieves-Rivera y Diosdado-Rivera porque su confianza y apoyo fueron fundamentales para terminar mi carrera.

# INDICE

|  |     |
|--|-----|
| <b>INDICE</b> .....                        | i   |
| <b>INDICE DE FIGURAS</b> .....             | ii  |
| <b>INDICE DE TABLAS</b> .....              | iii |
| <b>RESUMEN</b> .....                       | v   |
| <br>                                       |     |
| <b>1. INTRODUCCION</b> .....               | 1   |
| 1.1 Objetivo.....                          | 6   |
| <br>                                       |     |
| <b>2. MATERIALES Y METODOS</b> .....       | 7   |
| 2.1 Descripción del Area de Estudio.....   | 7   |
| 2.2 Metodología de Campo .....             | 9   |
| 2.3 Metodología de laboratorio.....        | 10  |
| 2.4 Análisis Estadísticos .....            | 10  |
| <br>                                       |     |
| <b>3. RESULTADOS</b> .....                 | 15  |
| 3.1 VARIACIÓN ESPACIAL .....               | 15  |
| 3.2 VARIACIÓN TEMPORAL EN SANTA CLARA..... | 19  |
| 3.2.1 Septiembre .....                     | 21  |
| 3.2.2 Febrero .....                        | 24  |
| 3.2.3 Mayo .....                           | 27  |
| 3.3 VARIACIÓN TEMPORAL EN SAN FELIPE.....  | 30  |
| 3.3.1 Septiembre.....                      | 32  |
| 3.3.2 Febrero.....                         | 35  |
| 3.3.3 Mayo.....                            | 38  |
| <br>                                       |     |
| <b>4. DISCUSIONES</b> .....                | 41  |
| <br>                                       |     |
| <b>5. CONCLUSIONES</b> .....               | 49  |
| <br>                                       |     |
| <b>6. LITERATURA CITADA</b> .....          | 50  |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.-</b> Localización del área y estaciones de muestreo .....  | 8  |
| <b>Figura 2.-</b> Diagrama de flujo de la metodología estadística .....   | 11 |
| <b>Figura 3.-</b> Diagrama de flujo de la metodología del ACP.....  | 14 |
| <b>Figura 4.-</b> Datos mensuales de mareógrafo de altura de marea nmm en transformaciones Z, a) septiembre, b) febrero, c) mayo.....   | 17 |
| <b>Figura 5.-</b> Variación temporal para Santa Clara en septiembre; a) altura de marea nmm, b) clorofila a $\text{mg m}^{-3}$ , c) temperatura $^{\circ}\text{C}$ , d) transformaciones Z de altura de marea y clorofila a ..... | 22 |
| <b>Figura 6.-</b> Variación temporal para Santa Clara en febrero; a) altura de marea nmm, b) clorofila a $\text{mg m}^{-3}$ , c) temperatura $^{\circ}\text{C}$ , d) transformaciones Z de altura de marea y clorofila a .....    | 25 |
| <b>Figura 7.-</b> Variación temporal para Santa Clara en mayo; a) altura de marea nmm, b) clorofila a $\text{mg m}^{-3}$ , c) temperatura $^{\circ}\text{C}$ , d) transformaciones Z de altura de marea y clorofila a.....        | 28 |
| <b>Figura 8.-</b> Variación temporal para San Felipe en septiembre; a) clorofila a $\text{mg m}^{-3}$ , b) temperatura $^{\circ}\text{C}$ , c) transformaciones Z de altura de marea y clorofila a.....                           | 33 |
| <b>Figura 9.-</b> Variación temporal para San Felipe en febrero; a) clorofila a $\text{mg m}^{-3}$ , b) temperatura $^{\circ}\text{C}$ , c) transformaciones Z de altura de marea y clorofila a.....                              | 36 |
| <b>Figura 10.-</b> Variación temporal para San Felipe en mayo; a) clorofila a $\text{mg m}^{-3}$ , b) temperatura $^{\circ}\text{C}$ , c) transformaciones Z de altura de marea y clorofila a.....                                | 39 |

## LISTA DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla I.-</b> Valores promedios mínimos y máximos para los tres períodos de muestreo en las dos estaciones.....  | 15 |
| <b>Tabla II.-</b> Anova de 1 vía no paramétrico de Kruskall-Wallis (a un $\alpha = 0.05$ ) para los tres períodos de muestreo en las dos estaciones.....  | 16 |
| <b>Tabla III.-</b> Análisis no paramétrico de Kruskall-Wallis (a un $\alpha = 0.05$ ) entre estaciones de muestreo.....   | 18 |
| <b>Tabla IV.-</b> Coeficientes de correlación entre las variables ambientales y los componentes significativos calculados del ACP para los tres períodos de muestreo en las dos estaciones .....                        | 18 |
| <b>Tabla V.-</b> Análisis no paramétrico de Kruskall-Wallis (a un $\alpha = 0.05$ ) entre períodos de muestreo en Santa Clara.....  | 19 |
| <b>Tabla VI.-</b> Análisis no paramétricos de Kruskall-Wallis y suma de rangos de Wilcoxon (a un $\alpha = 0.05$ ) para clorofila a según el intervalo de marea para los tres períodos de muestreo en Santa Clara ..... | 20 |
| <b>Tabla VII.-</b> Coeficientes de correlación entre las variables ambientales y los componentes significativos calculados del ACP para los tres períodos de muestreo en Santa Clara.. .....                            | 20 |
| <b>Tabla VIII.-</b> Análisis no paramétrico de suma de rangos para muestras independientes de Wilcoxon (a un $\alpha = 0.05$ ) para clorofila a, según el intervalo de marea para Santa Clara en septiembre.....        | 23 |
| <b>Tabla IX.-</b> Coeficientes de correlación entre las variables ambientales y los componentes significativos calculados del ACP para Santa Clara en septiembre.....   | 23 |
| <b>Tabla X.-</b> Análisis no paramétrico de suma de rangos para muestras independientes de Wilcoxon (a un $\alpha = 0.05$ ) para clorofila a, según el intervalo de marea para Santa Clara en febrero.....              | 26 |
| <b>Tabla XI.-</b> Coeficientes de correlación entre las variables ambientales y los componentes significativos calculados del ACP para Santa Clara en febrero.....  | 26 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla XII.-</b> Análisis no paramétrico de suma de rangos para muestras independientes de Wilcoxon (a un $\alpha = 0.05$ ) para clorofila a, según el intervalo de marea para Santa Clara en mayo.....            | 27 |
| <b>Tabla XIII.-</b> Coeficientes de correlación entre las variables ambientales y los componentes significativos calculados del ACP para Santa Clara en mayo.....  | 29 |
| <b>Tabla XIV.-</b> Análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis (a un $\alpha = 0.05$ ) entre períodos de muestreo en San Felipe.....   | 30 |
| <b>Tabla XV.-</b> Análisis no paramétricos de Kruskal-Wallis y suma de rangos de Wilcoxon (a un $\alpha = 0.05$ ) para clorofila a según el intervalo de marea para los tres períodos de muestreo en San Felipe..... | 30 |
| <b>Tabla XVI.-</b> Coeficientes de correlación entre las variables ambientales y los componentes significativos calculados del ACP para los tres periodos de muestreo en San Felipe.....                             | 31 |
| <b>Tabla XVII.-</b> Análisis no paramétricos de Kruskal-Wallis y suma de rangos de Wilcoxon (a un $\alpha = 0.05$ ) para clorofila a, según el intervalo de marea para San Felipe en septiembre.....                 | 32 |
| <b>Tabla XVIII.-</b> Coeficientes de correlación entre las variables ambientales y los componentes significativos calculados del ACP para San Felipe en septiembre.....  | 34 |
| <b>Tabla XIX.-</b> Análisis no paramétrico de suma de rangos para muestras independientes de Wilcoxon (a un $\alpha = 0.05$ ) para clorofila a, según el intervalo de marea para San Felipe en febrero.....          | 35 |
| <b>Tabla XX.-</b> Coeficientes de correlación entre las variables ambientales y los componentes significativos calculados del ACP para San Felipe en febrero.....  | 37 |
| <b>Tabla XXI.-</b> Análisis no paramétricos de suma de rangos para muestras independientes de Wilcoxon (a un $\alpha = 0.05$ ) para clorofila a, según el intervalo de marea para San Felipe en mayo.....            | 40 |
| <b>Tabla XXII.-</b> Coeficientes de correlación entre las variables ambientales y los componentes significativos calculados del ACP para San Felipe en mayo.....   | 40 |

## RESUMEN

Con la finalidad de describir la influencia de la marea en la variación temporal de la clorofila *a* en el Alto Golfo de California se llevaron a cabo tres muestreos simultáneos en Santa Clara, Son. (caracterizada como una zona de mayor turbidez y energía de mezcla) y San Felipe, B.C. (caracterizada como una zona menos turbia y con menor energía de mezcla), tratando de abarcar un ciclo completo de marea viva-muerta y una variación anual de temperatura con una época fría (febrero), una cálida (septiembre) y una estación de transición (mayo). Los muestreos se realizaron a bordo de dos barcos anclados frente a la costa a manera de plataformas fijas; se tomaron muestras de agua superficial cada cuatro horas para determinar la concentración de clorofila *a*. Los datos de temperatura y de altura de marea, se obtuvieron mediante un termógrafo digital y mareógrafo, respectivamente, del proyecto Delta Camarón de la Universidad Autónoma de Baja California. Las pruebas estadísticas aplicadas mostraron diferencias de la concentración de clorofila *a* entre las localidades, además de una relación en función con la marea en Santa Clara donde se presentan las mayores concentraciones de clorofila *a* en marea viva, concentraciones promedio en marea muerta y concentraciones bajas en marea de transición. La concentración de clorofila *a* está regulada por la energía de mezcla asociada al amplio intervalo de marea, los promedios de clorofila *a* en esta localidad fueron altos en comparación con San Felipe, B.C., donde se encuentran altas concentraciones de clorofila *a* en invierno con marea muerta y en verano con marea viva. En general se concluye que: las dos localidades son diferentes en cuanto a las variaciones de las concentraciones de clorofila *a*; Las concentraciones de clorofila en Santa Clara están reguladas por los cambios en el ciclo de marea, mientras que en San Felipe, la regulación se da por la variación anual de temperatura.

## I. INTRODUCCION

Los cuerpos costeros constituyen un sistema complejo con gran interacción entre sus componentes bióticos y abióticos. El estudio del fitoplancton costero y su variación con base en la energía cinética turbulenta corresponde a solo una pequeña porción de toda esta complejidad ecológica. Sin embargo, la energía cinética turbulenta es un factor que afecta la productividad orgánica primaria dado que, de alguna manera, contribuye a la organización vertical del ecosistema, del cual depende la verdadera ecología evolutiva del fitoplancton (Margalef, 1978).

Uncles y Joint (1983) señalan que el movimiento vertical de la columna de agua puede dar como resultado variaciones en la luz que recibe el fitoplancton, siendo éstas de mayor magnitud que aquellas causadas por el cubrimiento de las nubes o curvas de irradiancia diarias o estacionales. Así mismo mencionan que no es factible que ocurra fotoinhibición en columnas de agua con mezcla rápida, debido a que las células fitoplanctónicas experimentan condiciones de alta intensidad luminosa tan solo por períodos de tiempo muy cortos, ya que la profundidad de mezcla es mucho mayor que la profundidad de la zona eufótica.

En el Golfo de California la mezcla producida por fenómenos asociados a mareas desempeña un papel importante en la zona costera, siendo su intensidad variable dependiendo del período lunar (Roden, 1957).

Es de notar que las regiones en la porción del Alto Golfo de California, aunque la amplitud de marea es considerable, el efecto por mareas en la concentración de pigmentos fotosintéticos es insignificante, lo cual podemos atribuirlo a que la mezcla por marea en esta porción puede tener componentes que sean la combinación de otras fuentes de energía cinética turbulenta (TKE),

la cual considera a todos los procesos de mezcla, por lo que su intensidad puede depender de mareas, vientos, calentamiento por insolación, batimetría, y la fisiografía (Santamaría-del-Angel, 1994).

Estudios realizados en zonas de alta mezcla turbulenta reportan que el efecto de ésta, asociado a fenómenos de mareas, provoca una alta concentración de nutrientes en la superficie, pudiendo incrementar la productividad orgánica primaria, con valores comparables a zonas de surgencias como ocurren en las costas del Océano Pacífico de Baja California, (Bustos-Serrano, 1996).

Si bien es cierto que la fertilidad del Golfo está regida por los procesos de mezcla debido a las mareas (Alvarez-Borrego, 1980), el efecto no es homogéneo (Alvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991), por lo cual se puede dividir el Golfo de California en 14 regiones biogeográficas (Santamaría-del-Angel *et al.*, 1994).

Una región donde la asociación de la fertilidad con los procesos de mezcla es más intensa durante todo el año es en el Alto Golfo (Alvarez-Borrego, 1980). Esta área, es el conjunto de 4 regiones biogeográficas siendo la Región de la Reserva de la Biosfera del Río Colorado la que más altos valores de concentración pigmentaria presenta (Santamaría-del-Angel *et al.*, 1994).

Esta región y en forma particular el Delta del Río Colorado, comprenden uno de los ecosistemas costeros únicos a nivel mundial con atributos especiales por sus características hidrográficas, alto grado de endemismo, ocurrencia de especies marinas y terrestres en peligro de extinción como la vaquita *Phocoena sinus* y la totoaba *Totoaba macdonaldi*, así como hábitat permanente y temporal de aves residentes y migratorias, por ser zona de crianza y desove de un gran número de especies marinas, muchas de ellas de interés comercial como el

camarón azul *Penaeus stylirostris*, camarón blanco *P. vannamei* y la curvina boca amarilla *Cynoscion xanthulus* entre otras, por lo que el Alto Golfo de California se denota como un área donde se sustentan las principales actividades comerciales de Puerto Peñasco y el Golfo de Santa Clara, Sonora y San Felipe, Baja California. Como una medida de protección a este importante ecosistema, el gobierno mexicano decidió ampliar la zona de reserva ya existente y decretó como Reserva de la Biosfera a la región del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado. Este decreto se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 10 de junio de 1993, (Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado, 1994; Guillén-Méndez, 1994).

Cuando el aporte de agua dulce por ríos, arroyos, etc. excede la evaporación, existe una situación antiestuarina, actualmente el Delta del Río Colorado presenta este comportamiento debido que no existe ningún aporte de agua dulce del Río Colorado, con excepción de los días en que se registra una precipitación pluvial local relativamente considerable, lo cual sucede muy pocos días al año (Alvarez-Borrego y Galindo-Bect, 1974). En el caso particular del Río Colorado, éste es considerado como el sistema pluvial más manipulado del mundo (Cupul-Magaña, 1994), desde 1935 el agua es almacenada, o distribuida, en los Estados Unidos, mientras que a México le llega un caudal de  $1,850 \times 10^6 \text{m}^3 \text{año}^{-1}$ ; el cual se destina al valle de Mexicali para uso agrícola (González-Casillas, 1991).

Antes de la intervención del hombre en el cause del Colorado, la alta energía de mezcla presentada en esta región era debida al gran aporte del río y al ciclo de mareas (Meckel, 1975). Actualmente, como consecuencia de la falta de aporte de agua dulce se han modificado drásticamente las condiciones hidrodinámicas del sistema estuarino, estando ahora completamente dominado por los efectos de la marea (Cupul-Magaña, 1994), que son predominantemente

del tipo semidiurno, con intervalos de amplitud considerados entre los mayores del mundo (de más de 9 m) (Bourillón-Moreno, *et al.*, 1988).

En contraste con el largo período de descarga fluvial nula a la región del Delta del Río Colorado, los eventos de El Niño pueden modificar las condiciones hipersalinas de la cuenca hacia condiciones estuarinas, restableciendo en cierta medida las características originales de abastecimiento de sedimento y nutrientes de origen continental al sistema (Cupul-Magaña, 1994), ya que como efecto oceanográfico se asocian algunos cambios como temperaturas superficiales inusualmente altas y fuertes lluvias (Santamaría-del-Angel, 1994).

Hoy en día, el Delta del Río Colorado está caracterizado por presentar gran variabilidad de condiciones ambientales en función con la marea en periodos cortos (24 horas). Para el mejor entendimiento de esta variabilidad es necesario generar series de tiempo que abarquen parte del período de marea viva y muerta. Así mismo la generación de información en periodos relativamente largos, que permitan observar las tendencias de cambio y la periodicidad de variación de las propiedades medidas (Alvarez-Borrego y Galindo-Bect, 1974; Millán-Nuñez, 1981; Millán-Nuñez *et al.*, 1982).

En estudios realizados en el Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado algunos autores (*v.gr.* Orozco-Borbón, 1995; Guillén-Méndez, 1994; Mascorro-Segura, 1994) mencionan a la marea como un factor ecológico importante del que aún se desconoce en gran parte su relación con las distintas variables ambientales, de ahí la importancia de realizar un estudio en donde se muestre más claramente la relación de la marea con la biomasa fitoplanctónica.

Para la zona del Delta, Hernández-Ayón *et al.*, (1993) mencionan que las concentraciones de nutrientes no son un factor limitante para la producción

orgánica primaria y que los registros circadianos de nutrientes señalan la presencia de dos épocas estacionales, con valores menores en verano y mayores en invierno.

La temperatura superficial del agua presenta un ciclo estacional con temperaturas que van de un mínimo de 15 °C en invierno a un máximo de 32 °C en verano y es influenciada en gran medida por los factores atmosféricos del área (Alvarez-Borrogo, 1983; Badan-Dangon, *et al.*, 1985). Granados-Guzmán e Hidalgo-González (1994) opinan que la variación de temperatura en el Alto Golfo de California está dada por variaciones de corto período debidas a corrientes de marea y gradientes horizontales entre los canales y zonas someras y a variaciones de más largo período asociadas a cambios de la secuencia estacional de irradiación solar y temperatura atmosférica.

En base a los resultados obtenidos por Lechuga-Devese (1978), Bonetto (1983), Cloern (1987) y Dávalos *et al.*, (1989), se esperaría que en el Delta del Río Colorado, la producción orgánica primaria fuera de valores bajos debido a la alta turbidez, sin embargo Santamaría-del-Angel *et al.*, (1996), realizó un estudio en el Delta del Río Colorado en el cual se comprobó que el fitoplancton de esta región presenta adaptaciones a la turbidez del medio como son el aumento de la cantidad de clorofila *a* por célula, una mayor tasa de asimilación y de adaptación del fitoplancton a regímenes de luz intermitente. Así mismo Millan-Nuñez *et al.*, (1998), reportan para la región del Delta altas tasas fotosintéticas, aproximadamente de 15 mg/m<sup>3</sup> para zonas en que las lecturas del disco de Secchi no alcanzan más de 20 cm.

Para observar mejor la relación que existe entre la concentración de clorofila *a* y el intervalo de marea es necesario realizar un estudio donde se abarquen 2 zonas con distinta turbidez e intervalo de marea como son Santa Clara, Son. y San Felipe, B.C.; con lo cual se espera encontrar una relación

directa entre la biomasa fitoplanctónica y la marea, mostrándose más claramente en el punto con mayor energía de mezcla, como lo es Santa Clara y que la relación sea más débil en el punto con menor energía, San Felipe, donde otras variables atmosféricas como la temperatura pueden tener una mayor influencia sobre la biomasa fitoplanctónica.

### **1.1 Objetivo**

Describir la influencia de la marea sobre la variación temporal de la clorofila *a*, en dos zonas del Alto Golfo de California, con diferentes condiciones de energía cinética turbulenta y turbidez.

## 2. MATERIALES Y METODOS

### 2.1 Descripción del área de estudio

La zona de estudio se localiza entre los 31° 02' y 31° 53' de latitud norte y los 114° 32' y 114° 55' de longitud oeste, entre los estados de Sonora y Baja California (fig. 1).

El tipo de clima del área es de desierto continental, con humedad y pluviosidad escasa. La temperatura ambiental fluctúa en el año de un valor promedio máximo de 32.2 °C en verano y un valor mínimo promedio de 8.25 °C en invierno, (Miranda-Reyes, *et al.*, 1991; Hernández-Ayón *et al.*, 1993).

El Alto Golfo de California posee una forma más o menos triangular (Lepley, *et al.*, 1975), el contenido de sedimentos de origen continental fue acarreado en su mayoría por el Río Colorado, constituyendo un amplio delta sumergido en su mayor parte; su hundimiento alcanza aproximadamente 200 km., el cuál al parecer está relacionado a la última transgresión post-pleistocénica, con rocas ígneas intrusivas y extrusivas del Cenozoico medio (Carranza-Edwards, *et al.*, 1975). Presenta además una serie de fallas; una del Pleistoceno que provoca la separación en el desierto de Sonora y la otra del mesozoico en Baja California, separada de la cuenca por la Sierra de Juárez y otras montañas (Meckel, 1975).

En lo que fue el estuario del Río Colorado, existen canales submarinos separados por barras de sedimento emergiendo en islas (Meckel, 1975), tales son los casos de la Isla Montague (de mayor extensión situada mas al norte) y la Isla Gore (de menor tamaño, situada entre la Isla Montague y la costa de Sonora).

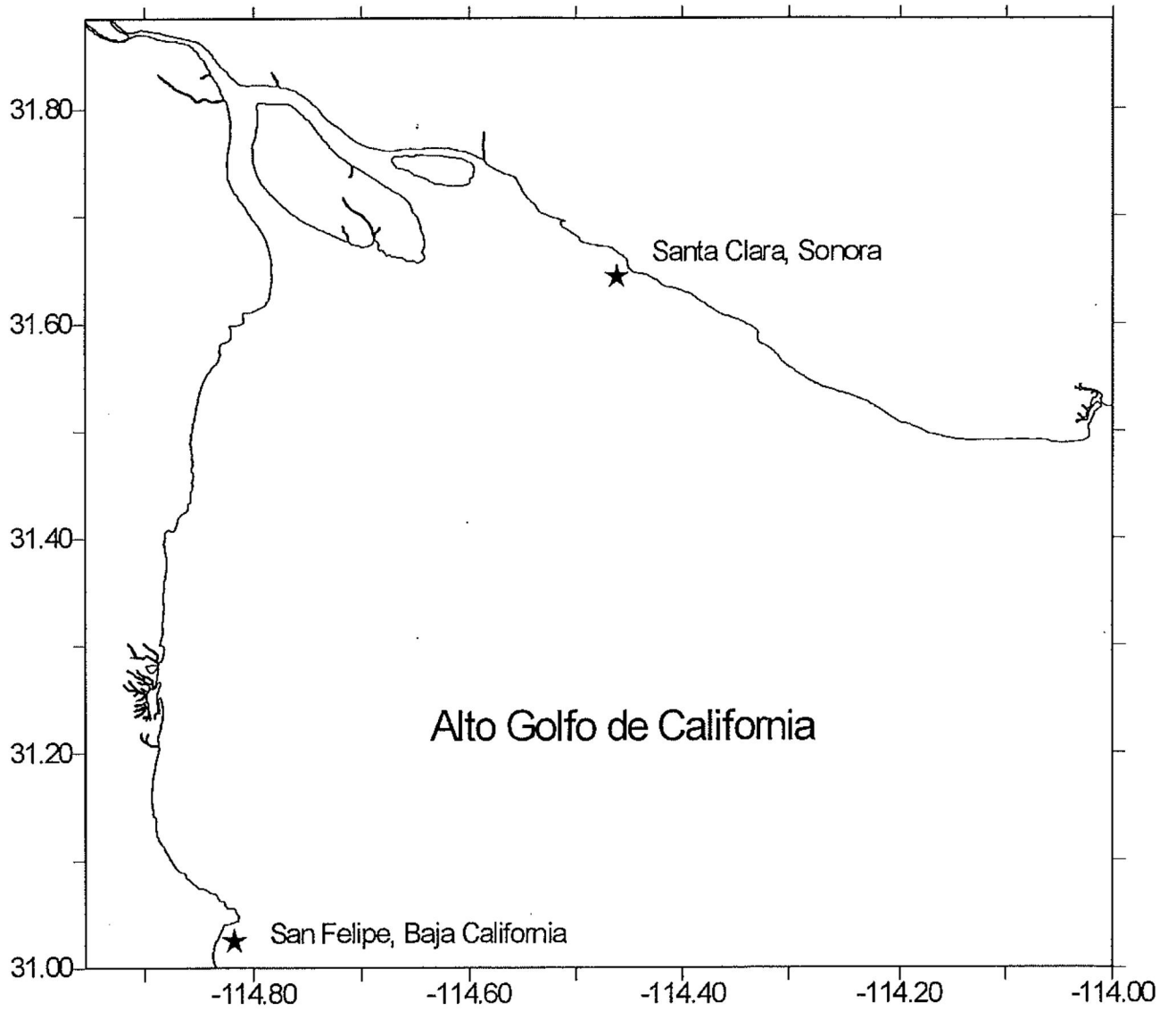


Figura 1.- Localización del área y estaciones de muestreo

Alvarez-Borrego y Galindo-Bect (1974) mencionan que la circulación neta en el Alto Golfo de California es rotatoria en sentido contrario a las manecillas del reloj, las mareas son predominantemente de tipo semidiurno, por lo que se consideran entre las mas amplias del mundo. El intervalo máximo de marea registrado en San Felipe, B.C. es de 6.95 m (Gutiérrez y González, 1989), mientras que para la boca del Río Colorado es de 9 m (Mathews, 1969).

La resuspensión de sedimento por efecto de marea en el Delta del Río Colorado produce una alta turbidez en el área. El contenido orgánico de estas aguas es muy alto, lo que ocasiona que la zona del extremo norte del golfo sea muy rica en bacterias, plancton, así como juveniles de peces y crustáceos (Bourillón-Moreno *et al.*, 1988). La vegetación es esparcida y restringida a lo largo del fondo lodoso que hay en la planicie deltaica, estando constituida principalmente por *Salicornia* sp. (Meckel, 1975).

## **2.2 Metodología de campo**

Se realizaron tres series de tiempo con duración de 7 y 8 días, en Santa Clara, Son. y San Felipe, B.C. en el Alto Golfo de California. (Fig. 1). La primera, del 7 al 14 de septiembre de 1990, la segunda del 10 al 17 de febrero y la tercera del 15 al 21 de mayo de 1991; se trató de abarcar un ciclo de mareas viva y muerta, así como las variaciones estacionales, correspondiendo el mes de febrero a la estación fría, septiembre a la estación cálida y mayo como una estación intermedia o de transición. La toma de muestras fue simultánea en Santa Clara y San Felipe para evitar muestrear un mismo parche de fitoplancton desplazado por las corrientes:

En Santa Clara, Son., los muestreos se realizaron a bordo de un barco camaronero de la Coop. Carranza y en San Felipe, B.C. en el barco ETP. 6 de la Escuela Secundaria Tecnológica Pesquera, ambos como plataformas fijas.

Cada cuatro horas se colectaron muestras de agua superficial. Con el fin de evaluar la biomasa fitoplanctónica y expresarla en mg Cl a  $m^{-3}$  con filtros de nitrocelulosa de 0.45  $\mu m$  de luz de poro y 47 mm de diámetro. Se filtró un litro de agua, al cual se le agregó previamente 1ml de una solución saturada de  $MgCO_3$ . Los filtros de cada muestra se colocaron por separado en papel aluminio y se almacenaron en un congelador.

Los datos de mareas fueron tomados de un mareógrafo instalado en Santa Clara, Son. Los datos de temperatura fueron proporcionados por el programa Delta Camarón de la Universidad Autónoma de Baja California.

### **2.3 Metodología de laboratorio**

La extracción de clorofila *a* se realizó basándose en la metodología descrita por Strickland y Parsons (1973), midiendo las absorbancias de los extractos en un espectrofotómetro Milton Roy Spectronic UV 1201. El cálculo de las concentraciones de pigmentos fotosintéticos se realizó basándose en el sistema de ecuaciones tricromáticas descritas por Millán-Nuñez y Alvarez-Borrego (1978).

### **2.4 Análisis estadísticos**

Para decidir el tipo de estadística a utilizar, (fig. 2), a todos los datos se les aplicó la prueba de bondad de ajuste de los datos a una distribución gaussina; como las muestras resultaron no normales para detectar si existen o no diferencias en el tiempo se utilizó un análisis de varianza no paramétrico de Kruskal-Wallis a un  $\alpha = 0.05$  para comparar los datos de los tres períodos de muestreo, esto se realizó con cada una de las variables clorofila *a*, marea y temperatura para cada estación.

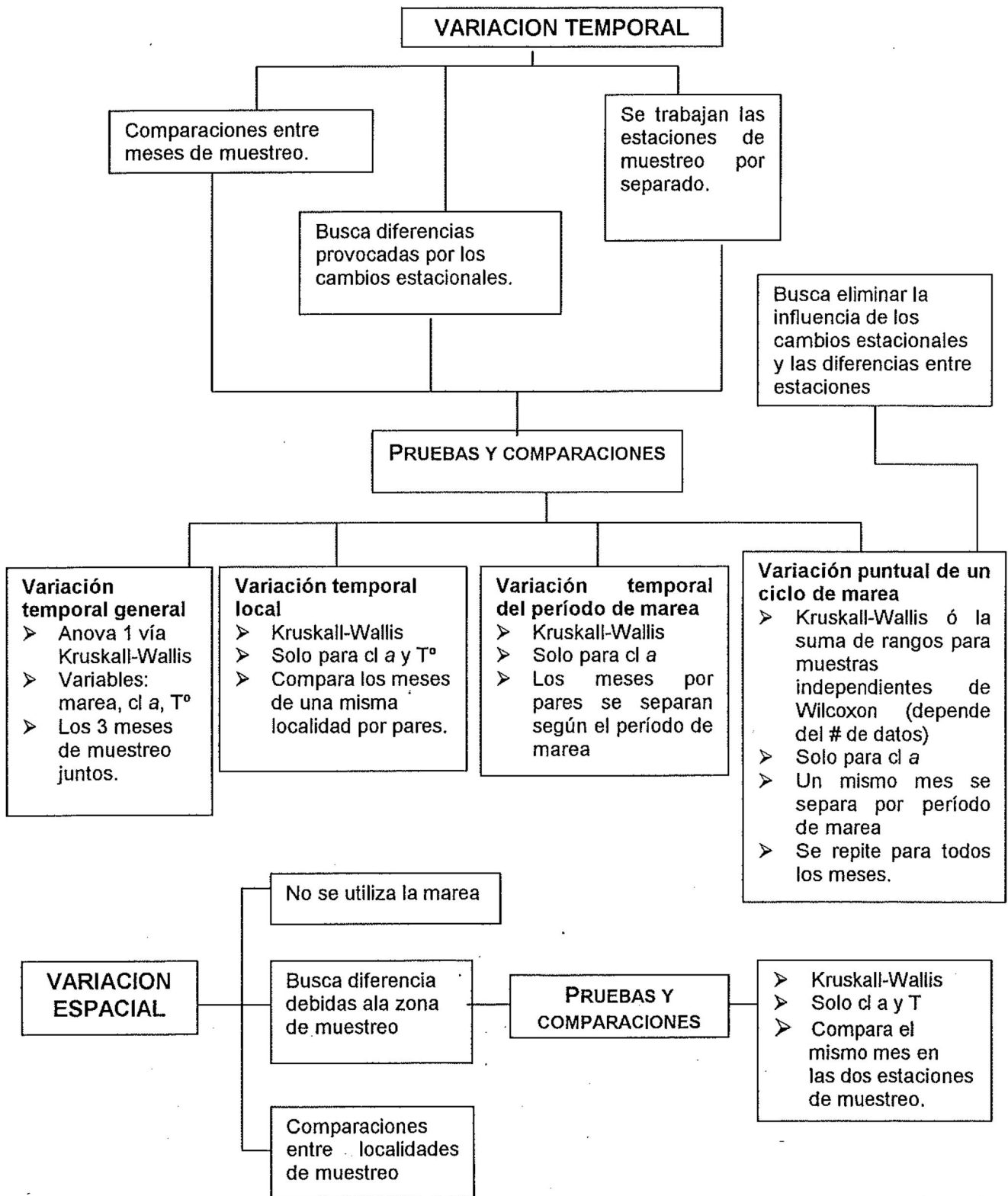


Figura 2.- Diagrama de flujo de la metodología estadística.

Con la finalidad de detectar si existen diferencias significativas en espacio se compararon las dos localidades durante un mismo período de muestreo mediante un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis a un  $\alpha = 0.05$ ; con esta misma prueba y con la finalidad de buscar en que períodos de muestreo las diferencias en el tiempo eran significativas se compararon por pares los tres meses de una misma localidad, esto se hizo de igual manera para las dos estaciones de muestreo.

Con el propósito de resaltar más las posibles diferencias, se realizó un bloqueo de los datos basándose en el tiempo para los distintos períodos de marea, usando los datos derivados de un mareógrafo situado en Santa Clara, Son. La duración de dichos períodos se determinó mediante una curva de los datos Z prisma de marea. Estos datos se obtuvieron de la transformación "Z" [ $Z = (x_i - \mu) / Sd$ ], donde "X" representa al prisma de mareas diario que es igual a la diferencia del valor máximo menos el mínimo,  $\mu$  y Sd son los promedios y desviaciones estándares de todos los prismas de mareas obtenidos en el mes. Basándose en esta curva, los días se dividieron en: mareas vivas con  $Z \geq 1$ ; mareas muertas con  $Z \leq -1$ ; los valores entre -1 y 1 se codificaron según su pendiente en mareas posmuertas, previvas, posvivas y premuertas.

A todos los valores de clorofila a de un mismo día se les relacionó con el período de marea del día en que se tomó la muestra, para de esta manera poder comparar los días que estaban en el mismo periodo de marea de un mes con los de otro mes mediante un análisis no paramétrico de suma de rangos para muestras independientes de Wilcoxon (Wadsworth, 1990), o Kruskal-Wallis dependiendo del número de datos, esto se hizo con los tres períodos de muestreo y para cada localidad por separado.

Para poder observar la variación de la clorofila a en una escala de tiempo menor se aplicó un análisis no paramétrico de suma de rangos para muestras

independientes de Wilcoxon o Kruskal-Wallis dependiendo del número de datos y aplicando el tratamiento anterior, pero solamente se compararon los datos de un mismo mes que estaban en el mismo período de marea, esto se hizo para cada períodos de muestreo por separado y en cada localidad.

Con objeto de determinar la asociación de las variables (fig. 3), se realizó un análisis de asociación matemática (Análisis de Componentes Principales, ACP, en su representación numérica). El análisis se aplicó sobre la base de una matriz de correlación de las variables: marea, clorofila *a* y temperatura.

En todos los análisis de componentes principales, el criterio utilizado para considerar significativo a un componente, fue que el valor propio (eigen valor) fuera  $>1$ . Para determinar cuales variables varían o covarían juntas, es decir que variables se asocian dentro de un componente, se utilizaron los criterios de Kendall, (1930) y Hope (1982) citados por Santamaría-del-Angel, (1994) los cuales consideran los coeficientes de correlación de las variables vs. los componentes principales (PC) para definir cuales variables pertenecen al componente mediante la utilización del mayor coeficiente de correlación (en valor absoluto) de cada una de las hileras de la matriz de correlación.

El análisis de componente principal se realizó siempre con los datos de las tres variables divididos como valores altos (+1 por arriba del promedio), valores promedio y valores bajos (-1 por debajo del promedio); para poder observar de manera global las asociaciones mas generales el ACP se aplicó en los valores de los tres meses y de las dos localidades juntos, para buscar las diferencias en el tiempo el ACP se aplicó a los tres meses de cada localidad por separado y para observar las asociaciones locales se aplicó un ACP por separado a los datos de cada mes en cada localidad.

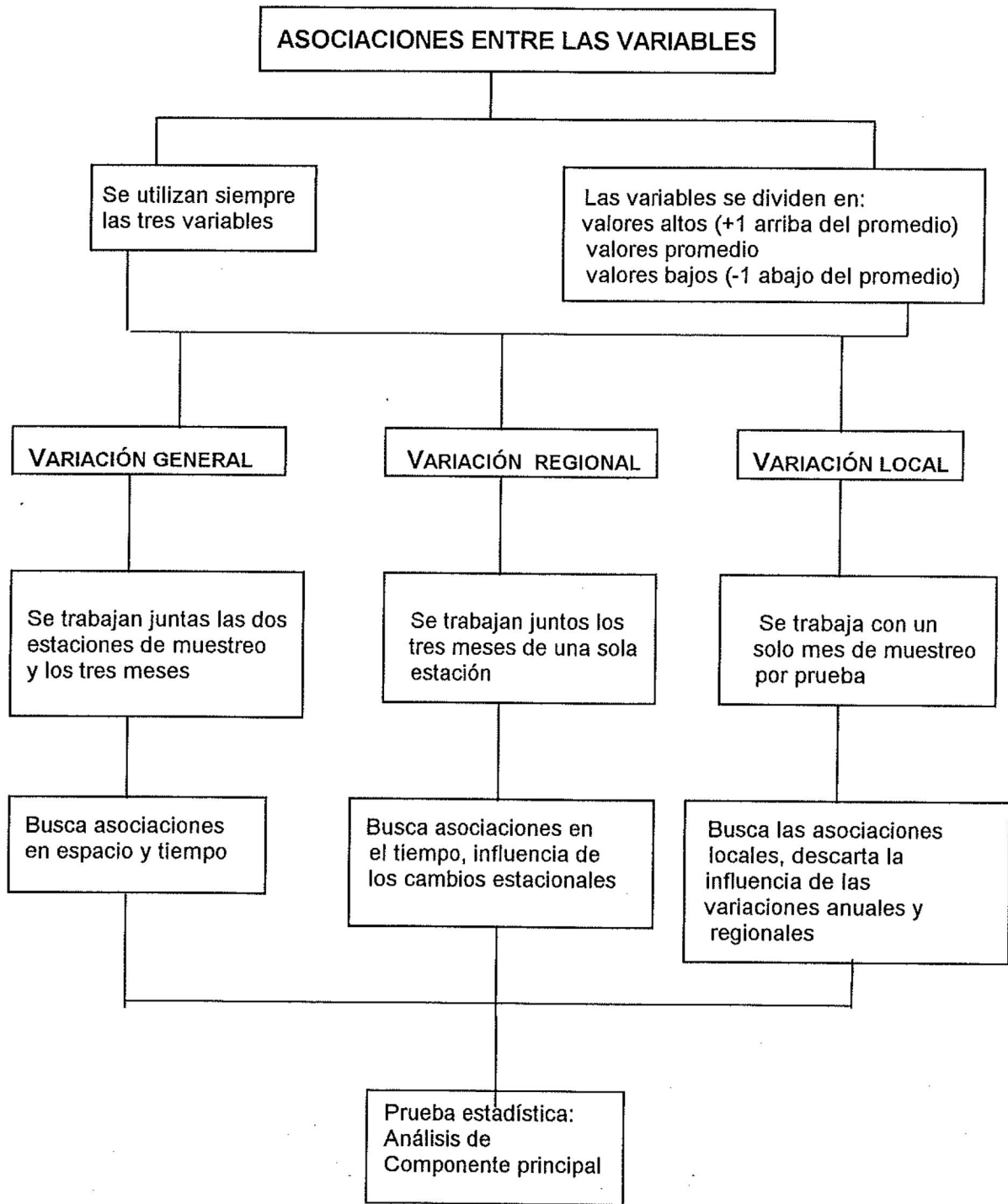


Figura 3.- Diagrama de flujo de la metodología del ACP.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Variación espacial.

En general se observa (tabla I) que para las dos localidades, el mes en que el intervalo de marea tuvo mayor amplitud fue febrero presentando un máximo de 10.49 m y un mínimo de -10.47 m. La temperatura fluctuó de un mínimo de 13.90°C en Santa Clara para febrero a un máximo de 32.70 °C para las dos estaciones, en general la temperatura mantuvo un comportamiento homogéneo durante todos los muestreos. La clorofila a presentó mayores concentraciones para Santa Clara que para San Felipe a excepción de mayo que tuvo valores más altos para San Felipe, que tuvo un comportamiento más estable durante todos los muestreos. El mes más productivo para Santa Clara fue septiembre y el más homogéneo mayo, para San Felipe el máximo promedio fue en mayo.

**Tabla I.-** Valores promedio, mínimos y máximos de las variables para los tres periodos de muestreo en las dos estaciones.

| Santa Clara |                 |       |       |       |              |       |       |      |           |       |       |       |
|-------------|-----------------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|------|-----------|-------|-------|-------|
|             | SEPTIEMBRE 1990 |       |       |       | FEBRERO 1991 |       |       |      | MAYO 1991 |       |       |       |
| Var.        | n               | prom  | min   | max.  | n            | prom  | min   | max. | n         | prom  | min   | max.  |
| Cl a        | 28              | 5.43  | 0.60  | 10.0  | 44           | 4.31  | 2.40  | 8.55 | 31        | 3.91  | 0.53  | 10.0  |
| tem         | 36              | 31.40 | 30.09 | 32.70 | 42           | 16.66 | 13.90 | 20.0 | 41        | 23.71 | 22.20 | 25.30 |
| San Felipe  |                 |       |       |       |              |       |       |      |           |       |       |       |
| Cl a        | 27              | 0.69  | 0.26  | 3.74  | 44           | 1.48  | 0.26  | 3.20 | 43        | 4.491 | 2.13  | 10.00 |
| tem         | 26              | 32.00 | 31.3  | 32.7  | 43           | 16.63 | 15.8  | 18.8 | 42        | 23.47 | 22.2  | 24.1  |
| nmm         | 40              | 0.185 | -7.35 | 10.41 | 44           | 0.260 | -10.4 | 10.4 | 43        | 0.641 | -7.37 | 10.00 |

Para poder observar los cambios ocurridos en la concentración de clorofila a provocados por la variación anual de los factores atmosféricos, lo cuál consideramos como diferencias en el tiempo, en cada estación de

muestreo se aplicó un Anova de 1 vía no paramétrico de Kruskal-Wallis a los valores de clorofila a de los tres meses de muestreo en Santa Clara, de igual manera se trabajó con los valores de temperatura y marea de esta estación y se hizo lo mismo para San Felipe, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los niveles de marea, pero sí se presentaron diferencias significativas en la variación anual de la concentración de clorofila a y temperatura en las dos estaciones (tabla II).

**Tabla II.-** Anova de 1 vía no paramétrico de Kruskal-Wallis (a un  $\alpha = 0.05$ ) para los tres períodos de muestreo en las dos estaciones.

| Variable    | H crit. | H calc. | Santa Clara | H calc. | San Felipe |
|-------------|---------|---------|-------------|---------|------------|
| marea       | 5.99    | 5.23    | NS          | 5.23    | NS         |
| Clorofila a | 5.99    | 9.07    | S           | 8.43    | S          |
| temperatura | 5.99    | 103     | S           | 78.89   | S          |

**S** = diferencias estadísticamente significativas **NS** = sin diferencias estadísticamente significativas.

Es preciso mencionar que los tres períodos de muestreo abarcaron un lapso de tiempo suficiente para poder registrar un intervalo de marea completo, de viva a muerta ó viceversa, y durante los cuales se observa una energía cinética turbulenta similar en los tres períodos de muestreo (fig. 4).

Para poder apreciar más claramente los cambios en el espacio, se compararon los valores de concentración de clorofila a y temperatura del mismo mes en las dos localidades mediante un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis, encontrándose para la clorofila a diferencias estadísticamente significativas entre las localidades, mientras que la temperatura solo mostró diferencias significativas para los meses de septiembre y mayo pero no se encontraron diferencias estadísticamente significativas para febrero (tabla III).

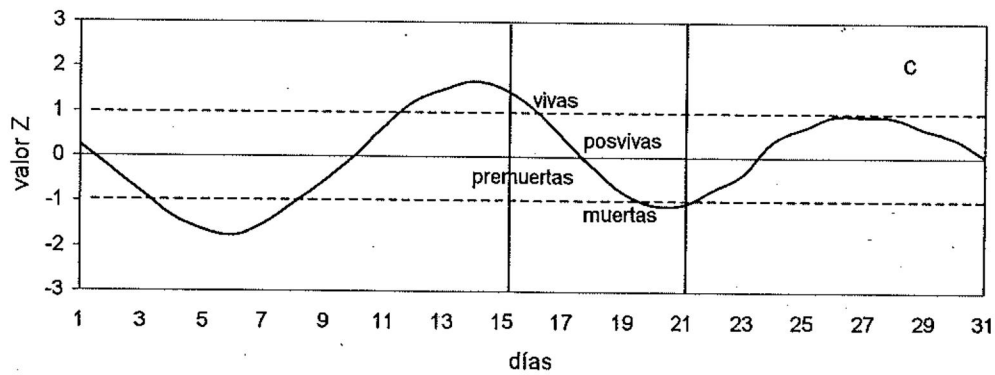
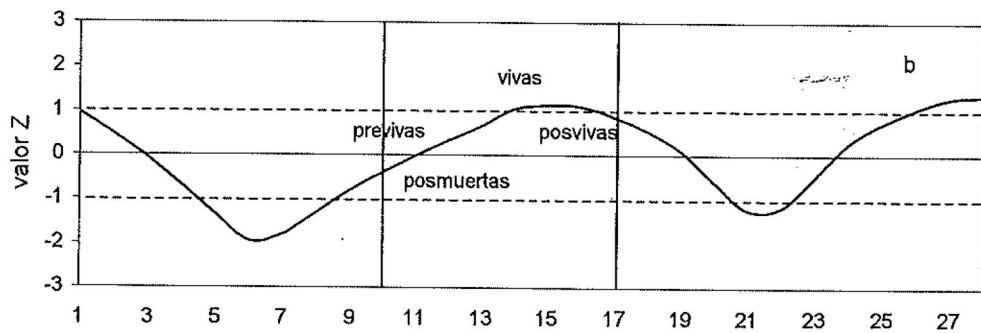
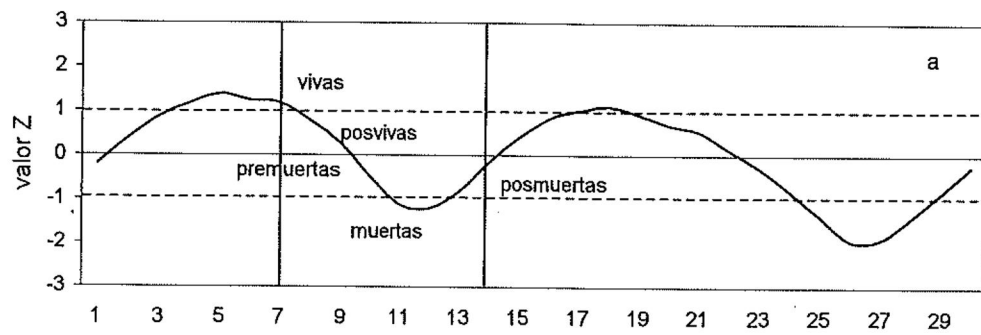


Figura 4.- Altura de marea nmm en transformaciones z a) septiembre, b) febrero, c) mayo. Mareógráfico del programa Delta Camarón.

**Tabla III.-** Análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis (a un  $\alpha = 0.05$ ) entre estaciones de muestreo.

| Variable    | Mes | H crit. | H cal. | Decisión | Mes | H cal. | Decisión | Mes | H cal. | Decisión |
|-------------|-----|---------|--------|----------|-----|--------|----------|-----|--------|----------|
| Clorofila a | Sep | 3.84    | 96.32  | S        | Feb | 59.58  | S        | May | 5.78   | S        |
| temperatura | Sep | 3.84    | 10.15  | S        | Feb | 0.59   | NS       | May | 10.54  | S        |

**S** = diferencias estadísticamente significativas **NS** = sin diferencias estadísticamente significativas.

A todos los valores de clorofila a, temperatura y marea obtenidos en los tres períodos de muestreo tanto para Santa Clara como para San Felipe se les aplicó en un solo grupo un ACP, el cuál en el CP3 y CP4 mostró que durante mareas muertas no se presentaron concentraciones bajas de clorofila a y con mareas de transición se presentan concentraciones altas de clorofila a (tabla IV).

**Tabla IV .-** Coeficientes de correlación entre las variables ambientales y los componentes significativos calculados del ACP para los tres períodos de muestreo en las dos estaciones.

| variable               | CP1           | CP2           | CP3           | CP4          | CP5          |
|------------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| clorofila a [alta]     | -0.304        | -0.318        | -0.263        | <b>0.462</b> | -0.443       |
| clorofila a [promedio] | -0.199        | -0.365        | 0.377         | -0.099       | <b>0.628</b> |
| clorofila a [baja]     | 0.405         | <b>0.532</b>  | -0.064        | -0.296       | -0.082       |
| temperatura alta       | <b>-0.504</b> | 0.223         | 0.195         | -0.276       | -0.307       |
| temperatura promedio   | -0.171        | 0.053         | <b>-0.628</b> | -0.067       | 0.461        |
| temperatura baja       | 0.438         | -0.162        | <b>0.444</b>  | 0.300        | -0.067       |
| marea viva             | <b>-0.443</b> | 0.191         | 0.348         | -0.177       | -0.067       |
| marea de transición    | -0.097        | 0.399         | 0.001         | <b>0.547</b> | 0.167        |
| marea muerta           | 0.153         | <b>-0.456</b> | -0.182        | -0.433       | -0.243       |

### 3.2 Variación temporal en Santa Clara.

Para poder apreciar más claramente la influencia de los cambios estacionales se aplicó el análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis a los valores de clorofila *a* y temperatura, comparando los meses entre sí (por pares); donde se mostraron diferencias significativas entre los meses de febrero-mayo, febrero-septiembre y septiembre-mayo para la temperatura; para la clorofila *a* solo los meses de febrero-septiembre no presentaron diferencias estadísticamente significativas (tabla V).

**Tabla V.-** Análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis (a un  $\alpha$  de 0.05) entre períodos de muestreo en Santa Clara.

| Variable     | H crit. | Meses   | H cal. | Dec. | Meses   | H cal. | Dec. | Meses   | H cal. | Dec. |
|--------------|---------|---------|--------|------|---------|--------|------|---------|--------|------|
| Chl <i>a</i> | 3.84    | Feb-May | 7.76   | S    | Feb-Sep | 2.27   | NS   | May-Sep | 4.54   | S    |
| Temp.        | 3.84    | Feb-May | 61.5   | S    | Feb-Sep | 56.53  | S    | May-Sep | 55.9   | S    |

**S** = diferencias estadísticamente significativas **NS** = sin diferencias estadísticamente significativas.

Con el objeto de hacer un análisis más fino de la influencia de la marea sobre la concentración de clorofila *a*, se realizó un bloqueo de los valores de clorofila *a* según el período en que se encontraba la marea, con este bloqueo se compararon los tres meses entre sí mediante las pruebas no paramétricas de suma de rangos para muestras independientes de Wilcoxon y Kruskal-Wallis (dependiendo del número de datos), las cuales mostraron en general diferencias significativas entre los meses de muestreo (tabla VI).

**Tabla VI.-** Análisis no paramétricos Kruskal-Wallis y suma de rangos para muestras independientes de Wilcoxon (a un  $\alpha = 0.05$ ) para clorofila a, según el intervalo de marea para los tres períodos de muestreo en Santa Clara.

| Período de Marea | Feb-May |          | Feb-Sep |          | May-Sep |          |
|------------------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|
|                  | Prueba  | Decisión | Prueba  | Decisión | Prueba  | Decisión |
| vivas            | KW      | NS       | -       | -        | -       | -        |
| posvivas         | W       | S        | W       | NS       | W       | S        |
| premuertas       | -       | -        | -       | -        | W       | S        |
| mueratas         | -       | -        | -       | -        | KW      | S        |
| posmuertas       | -       | -        | -       | -        | KW      | S        |
| previvas         | -       | -        | -       | -        | -       | -        |

**S** = diferencias estadísticamente significativas; **NS** = sin diferencias estadísticamente significativas.

El Análisis de Componente Principal aplicado al conjunto de los tres meses mostró en los componentes 1, 3 y 4 que cuando hay temperaturas bajas se presentan concentraciones bajas de clorofila a y que con temperaturas altas no se presentan concentraciones altas de clorofila; también mostró que con mareas de transición se presentan concentraciones promedio de clorofila a (tabla VII).

**Tabla VII.-** Coeficientes de correlación entre las variables ambientales y los componentes significativos calculados del ACP para los tres períodos de muestreo en Santa Clara.

| variable               | CP1           | CP2           | CP3           | CP4           | CP5           |
|------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| clorofila a [alta]     | 0.409         | 0.269         | -0.164        | <b>-0.424</b> | 0.293         |
| clorofila a [promedio] | 0.203         | 0.111         | <b>0.654</b>  | 0.190         | 0.011         |
| clorofila a [baja]     | <b>-0.471</b> | -0.336        | -0.251        | 0.261         | -0.240        |
| temperatura alta       | 0.367         | -0.049        | -0.302        | <b>0.598</b>  | 0.308         |
| temperatura promedio   | 0.308         | -0.031        | -0.037        | -0.268        | <b>-0.772</b> |
| temperatura baja       | <b>-0.494</b> | 0.017         | 0.212         | -0.388        | 0.341         |
| marea viva             | 0.224         | <b>-0.463</b> | 0.423         | 0.027         | 0.054         |
| marea de transición    | 0.168         | -0.347        | <b>-0.393</b> | -0.332        | 0.165         |
| marea muerta           | -0.137        | <b>0.681</b>  | -0.107        | 0.155         | -0.136        |

### 3.2.1 Septiembre.

Los intervalos de marea abarcados fueron de marea viva a marea posmuerta, el cambio en la amplitud de la marea se observa muy claramente, presentó un valor máximo de 10.41 m y mínimo de -7.35 m los primeros dos días en marea posviva y viva respectivamente (Fig. 5a).

La clorofila *a* presentó un comportamiento inverso al de la marea observándose un considerable aumento a partir del día 10 en que empezó el período de marea premuerta, el valor máximo observado fue de 10 mg Cl *a* m<sup>-3</sup> en marea premuerta y un mínimo de 0.604 mg Cl *a* m<sup>-3</sup> en marea posvivas (Fig. 5b). La tendencia a aumentar de la clorofila *a* en mareas muertas se aprecia mas claramente en la Fig. 5d.

La temperatura fluctuó entre 30.3 °C y 32.7 °C, se observó un comportamiento más homogéneo hacia la mitad del muestreo cuando la marea pasó de viva a muerta, presentando un promedio de 31.40 °C (Fig. 5c).

El análisis no paramétrico de suma de rangos para muestras independientes de Wilcoxon, (tabla VIII) aplicado a los valores de clorofila *a* para comparar los días según el estado de marea a que correspondieron no evidenció diferencias estadísticamente significativas en marea muerta, pero sí mostró diferencias significativas para marea posviva.

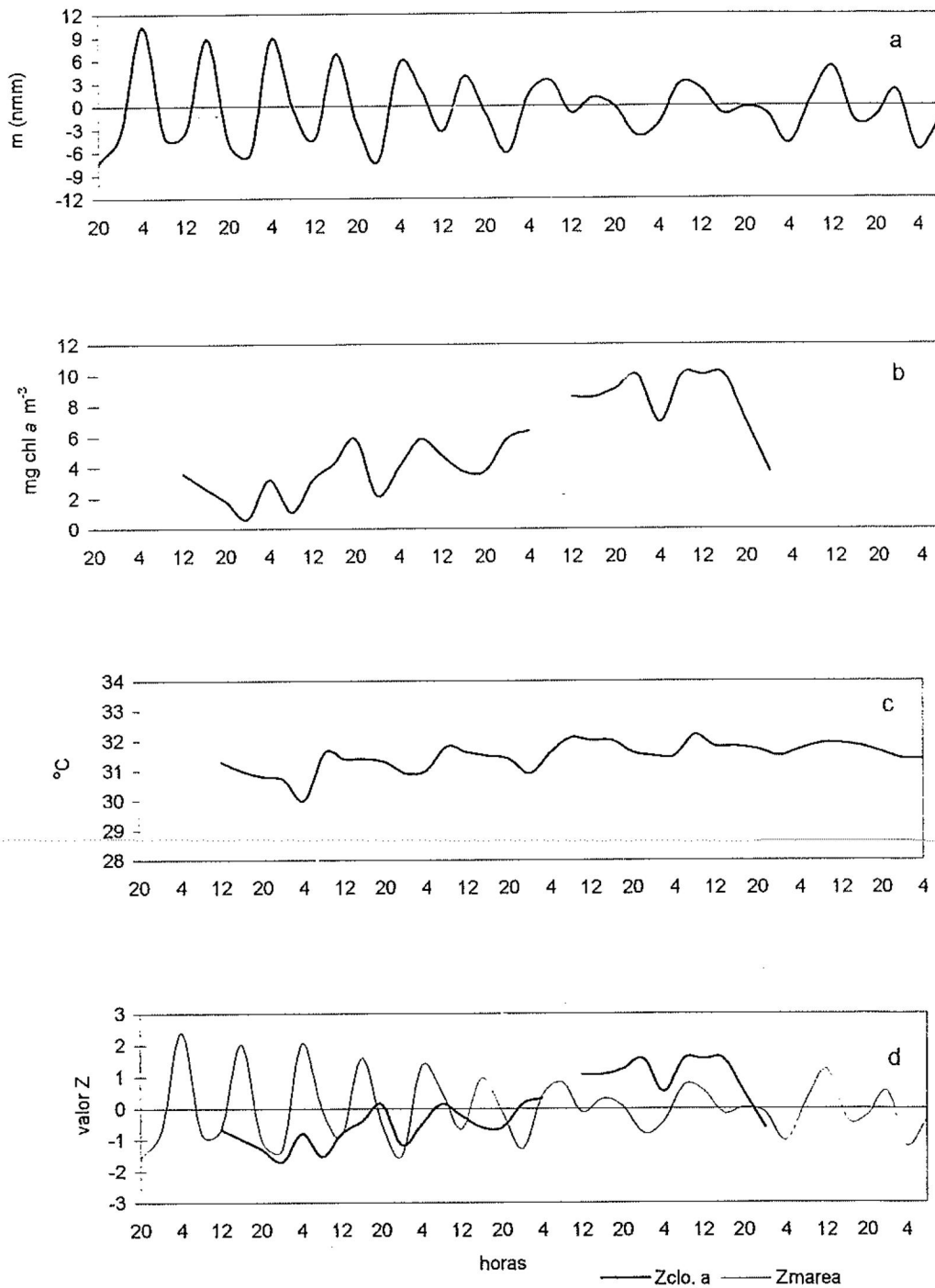


Fig. 5.- Variación temporal para Santa Clara en septiembre; a) altura de marea nmm, b) clorofila a  $\text{mg m}^{-3}$ , c) temperatura  $^{\circ}\text{C}$ , d) transformaciones z de altura de marea y clorofila a.

**Tabla VIII.-** Análisis no paramétrico de suma de rangos para muestras independientes de Wilcoxon (a un  $\alpha = 0.05$ ) para clorofila *a*, según el intervalo de marea para Santa Clara en septiembre.

| Intervalo de marea | # de días | Decisión |
|--------------------|-----------|----------|
| vivas              | 1         | -        |
| posvivas           | 2         | S        |
| premuertas         | 1         | -        |
| muertas            | 2         | NS       |
| posmuertas         | 2         | -        |

**S** = diferencias estadísticamente significativas; **NS** = sin diferencias estadísticamente significativas.

El ACP mostró en CP3 que se presentan concentraciones promedio de clorofila *a* cuando hay marea muerta y concentraciones bajas de clorofila *a* en marea de transición (tabla IX).

**Tabla IX.-** Coeficientes de correlación entre las variables ambientales y los componentes significativos calculados del ACP para Santa Clara en septiembre.

| variable                      | CP1           | CP2          | CP3           | CP4           |
|-------------------------------|---------------|--------------|---------------|---------------|
| clorofila <i>a</i> [alta]     | -0.299        | <b>0.592</b> | 0.061         | 0.206         |
| clorofila <i>a</i> [promedio] | -0.130        | -0.461       | <b>0.509</b>  | -0.234        |
| clorofila <i>a</i> [baja]     | 0.389         | -0.256       | <b>-0.424</b> | -0.037        |
| temperatura alta              | -0.379        | 0.177        | 0.151         | <b>-0.455</b> |
| temperatura promedio          | -0.246        | -0.334       | -0.038        | <b>0.741</b>  |
| temperatura baja              | <b>0.420</b>  | 0.224        | -0.264        | -0.167        |
| marea viva                    | <b>-0.372</b> | -0.323       | -0.367        | -0.177        |
| marea de transición           | -0.305        | 0.225        | <b>-0.350</b> | 0.121         |
| marea muerta                  | 0.362         | 0.154        | <b>0.454</b>  | 0.268         |

### 3.2.2 Febrero.

El período de marea abarcado fue de posmuertas a posvivas presentando un valor mínimo de -10.47 m y un máximo de 10.49 m en marea viva y posviva respectivamente, la variación en la amplitud de la marea fue mas ligera pero constante (Fig. 6a).

La clorofila *a* fluctuó entre de 2.406 mg Cl a m<sup>-3</sup> y 8.554 mg Cl a m<sup>-3</sup> en marea previva y viva respectivamente, se observó un ligero aumento en la concentración al inicio del muestreo en marea posmuerta; el valor promedio fue de 4.315 mg Cl a m<sup>-3</sup>, se observaron dos picos en marea viva pero en general no se presentó una tendencia marcada de aumento o disminución en relación con el período de marea (Fig. 6b), en la transformación a Z se observa en general un comportamiento inverso entre la clorofila *a* y la marea (Fig. 6d).

La temperatura en general presentó un comportamiento homogéneo que tendió a aumentar al cambiar el período a marea viva, se observó un pico de 19.4 °C en marea viva y un máximo de 20 °C al inicio del muestreo, el valor promedio del mes fue de 16.66 °C (Fig. 6c).

El análisis no paramétrico de suma de rangos para muestras independientes de Wilcoxon (tabla X) aplicado a los valores de clorofila *a* para comparar los días según el estados de marea a que correspondieron no presentó diferencias estadísticamente significativas entre marea posmuertas ni en vivas, pero si se presentó diferencias significativas en previvas.

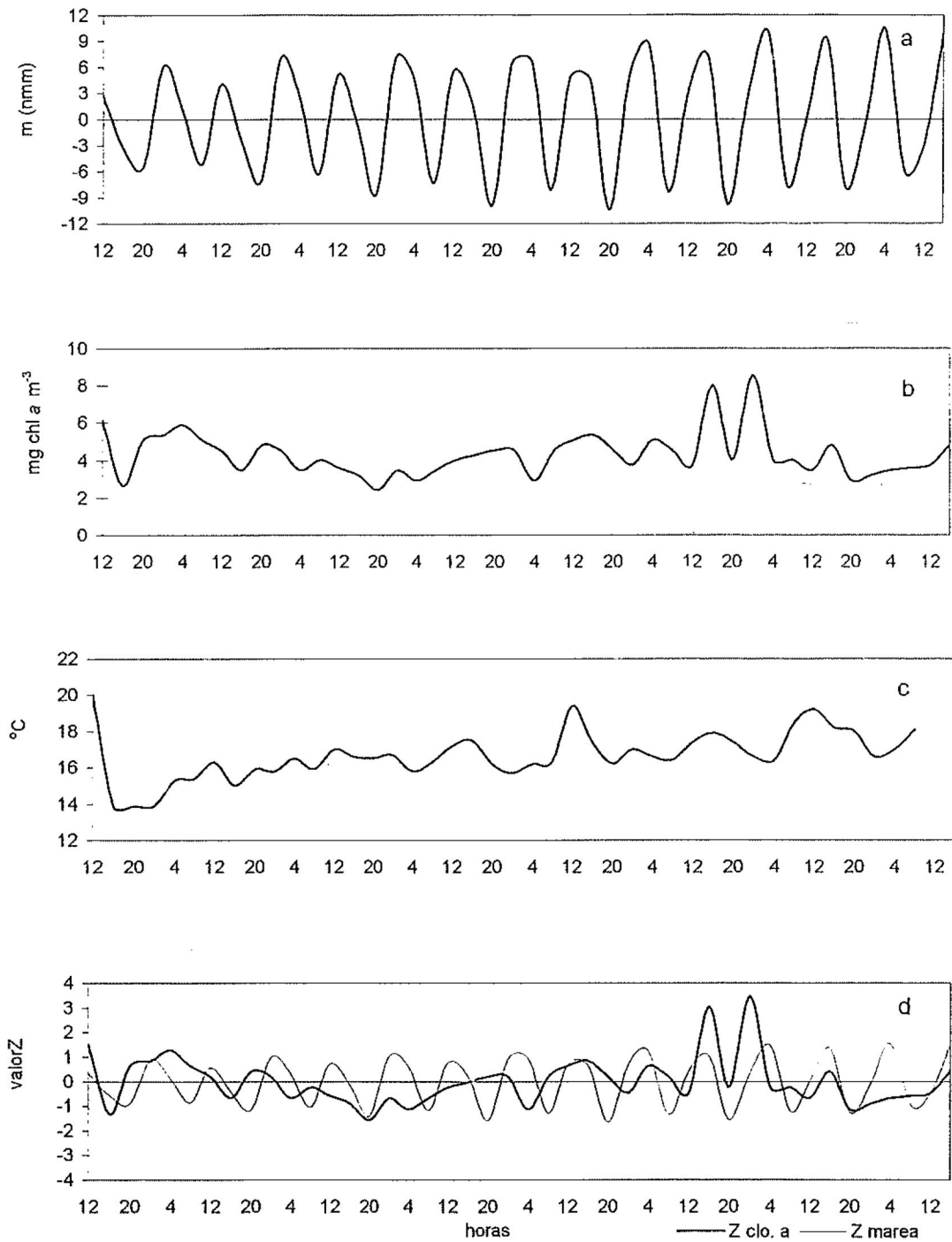


Fig. 6.- Variación temporal para Santa Clara en febrero; a) altura de marea nmm, b) clorofila a  $\text{mg m}^{-3}$ , c) temperatura  $^{\circ}\text{C}$ , d) transformaciones Z de altura de marea y clorofila a.

**Tabla X.-** Análisis no paramétrico de suma de rangos para muestras independientes de Wilcoxon (a un  $\alpha = 0.05$ ) para clorofila a, según el intervalo de marea para Santa Clara en febrero.

| Intervalo de marea | # de días | Decisión |
|--------------------|-----------|----------|
| posmuertas         | 2         | NS       |
| previvas           | 2         | S        |
| vivas              | 3         | NS       |
| posvivas           | 1         | -        |

**S** = diferencias estadísticamente significativas; **NS** = sin diferencias estadísticamente significativas.

En los componentes 1 y 2 el ACP mostró que se registran valores promedio de clorofila a cuando hay temperaturas bajas y mostró que dichos valores no se presentan con temperaturas altas (tabla XI).

**Tabla XI.-** Coeficientes de correlación entre las variables ambientales y los componentes significativos calculados del ACP para Santa Clara en febrero.

| variable               | CP1           | CP2           | CP3           | CP4           |
|------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| clorofila a [alta]     | <b>0.451</b>  | 0.024         | -0.149        | 0.214         |
| clorofila a [promedio] | 0.150         | <b>0.494</b>  | -0.207        | -0.249        |
| clorofila a [baja]     | <b>-0.469</b> | -0.383        | 0.271         | 0.013         |
| temperatura alta       | 0.285         | <b>-0.436</b> | 0.334         | 0.073         |
| temperatura promedio   | 0.260         | -0.158        | <b>-0.511</b> | 0.075         |
| temperatura baja       | -0.431        | <b>0.480</b>  | 0.101         | -0.116        |
| marea viva             | -0.323        | -0.011        | -0.347        | <b>0.599</b>  |
| marea de transición    | -0.045        | -0.301        | -0.256        | <b>-0.711</b> |
| marea muerta           | 0.338         | 0.268         | <b>0.541</b>  | 0.052         |

### 3.2.3 Mayo.

El período de marea abarcado fue de marea viva a marea muerta con un valor máximo de 10 m que corresponde a marea viva y un mínimo de -7.37 m en marea posviva, el cambio en la amplitud de la marea se observó claramente (Fig. 7a).

La clorofila *a* presentó un promedio 3.91 mg Cl a m<sup>-3</sup>, se registró un marcado aumento a partir del período de marea premuerta, así como un pico en marea muerta (Fig. 7b); la figura 7d, presentó un comportamiento estable a excepción de dos picos, el mayor registrado durante el período de marea premuerta y otro en marea muerta.

La temperatura fluctuó entre 22.20 °C y 25.00 °C, se observó un comportamiento homogéneo con tendencia a estabilizarse hacia la mitad del muestreo cuando la marea pasó de viva a muerta, presentó un promedio de 23.71 °C (Fig. 7c).

El análisis no paramétrico de suma de rangos para muestras independientes de Wilcoxon (tabla XII) aplicado a los valores de clorofila *a* para comparar los días según el estados de marea a que corresponden solo presentó diferencias estadísticamente significativas para marea muerta.

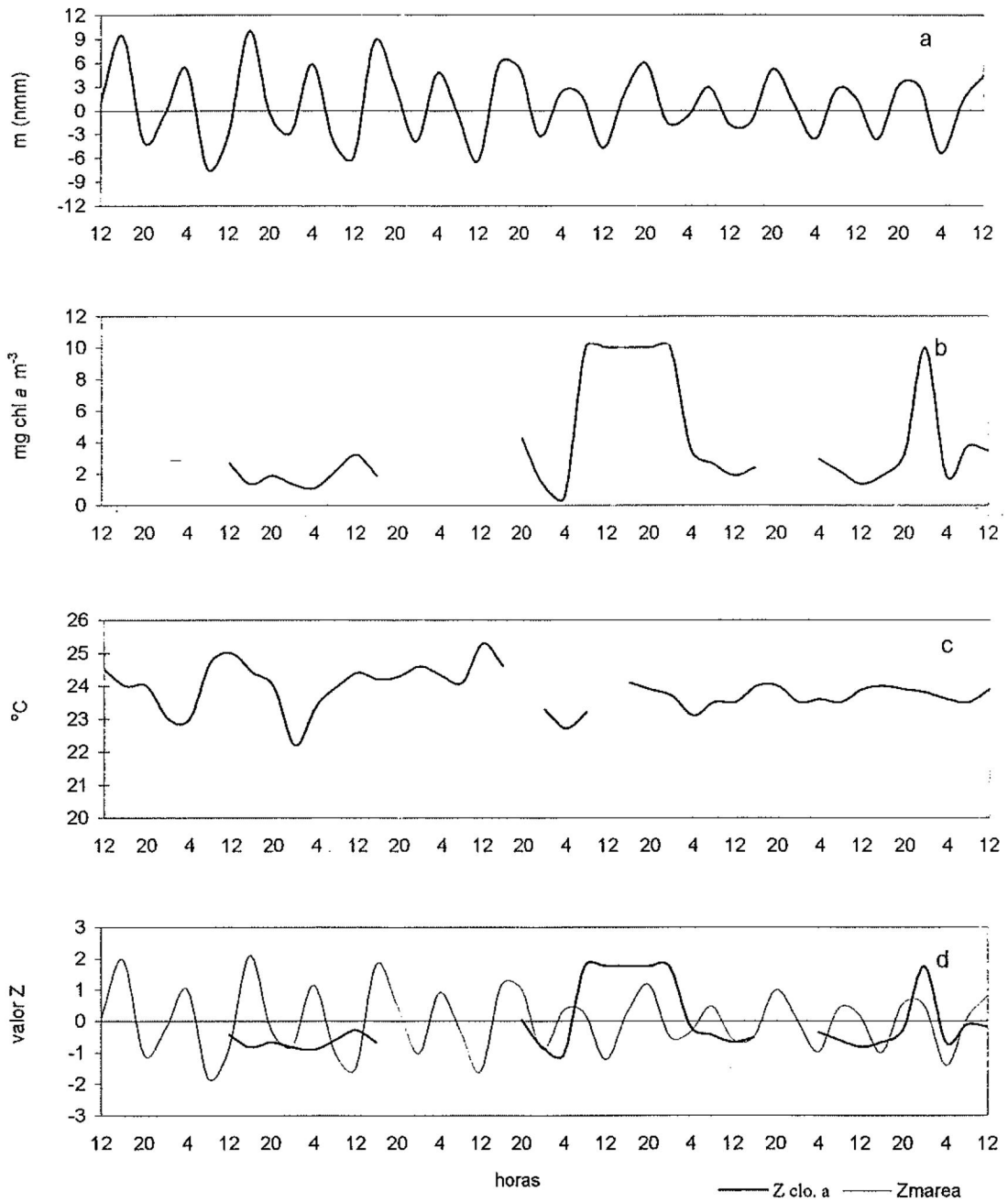


Fig. 7.- Variación temporal para Santa Clara en mayo; a) altura de marea nmm, b) clorofila a  $\text{mg m}^{-3}$ , c) temperatura  $^{\circ}\text{C}$ , d) transformaciones Z de altura de marea y clorofila a.

**Tabla XII.-** Análisis no paramétricos de Kruskal-Wallis y suma de rangos para muestras independientes de Wilcoxon (a un  $\alpha = 0.5$ ) para clorofila a, según el intervalo de marea para Santa Clara en mayo.

| Intervalo de marea | # de días | Prueba | Decisión |
|--------------------|-----------|--------|----------|
| vivas              | 2         | KW     | NS       |
| posvivas           | 1         | -      | -        |
| premuertas         | 2         | KW     | NS       |
| muertas            | 2         | W      | S        |

**S** = diferencias estadísticamente significativas; **NS** = sin diferencias estadísticamente significativas.

El ACP presentó en el CP1 una relación directa entre valores altos y cercanos al promedio de clorofila a cuando hay mareas vivas y que durante estas mismas mareas no hay concentraciones bajas de clorofila (tabla XIII).

**Tabla XIII.-** Coeficientes de correlación entre las variables ambientales y los componentes significativos calculados del ACP para Santa Clara en mayo.

| variable               | CP1           | CP2           | CP3           | CP4           |
|------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| clorofila a [alta]     | <b>-0.384</b> | 0.312         | -0.139        | 0.157         |
| clorofila a [promedio] | <b>-0.400</b> | -0.132        | -0.289        | -0.132        |
| clorofila a [baja]     | <b>0.480</b>  | -0.250        | 0.238         | -0.011        |
| temperatura alta       | -0.292        | -0.400        | 0.304         | <b>-0.491</b> |
| temperatura promedio   | -0.093        | 0.159         | 0.519         | <b>0.659</b>  |
| temperatura baja       | 0.350         | 0.273         | <b>-0.582</b> | 0.020         |
| marea viva             | <b>-0.405</b> | -0.248        | -0.230        | 0.280         |
| marea de transición    | 0.285         | <b>-0.422</b> | -0.140        | 0.156         |
| marea muerta           | 0.017         | <b>0.569</b>  | 0.258         | -0.423        |

### 3.3 Variación temporal en San Felipe.

Para poder apreciar mas claramente la influencia de los cambios estacionales en la concentración de clorofila a y temperatura se compararon los meses entre sí (por pares), mediante el análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis, que mostró diferencias estadísticamente significativas entre los períodos de muestreo, para las dos variables (tabla XIV).

**Tabla XIV.-** Análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis (a un  $\alpha$  de 0.05) entre períodos de muestreo en San Felipe.

| Variable | H crit. | Meses   | H cal. | Dec. | Meses   | H cal. | Dec. | Meses   | H cal. | Dec. |
|----------|---------|---------|--------|------|---------|--------|------|---------|--------|------|
| Chl a    | 3.84    | Feb-May | 59.52  | S    | Feb-Sep | 23.25  | S    | May-Sep | 47.71  | S    |
| Temp.    | 3.84    | Feb-May | 63.0   | S    | Feb-Sep | 49.05  | S    | May-Sep | 48.6   | S    |

**S** = diferencias estadísticamente significativas **NS** = sin diferencias estadísticamente significativas.

Para poder observar la influencia de la marea sobre la concentración de clorofila a, en una escala de tiempo menor, se realizó un bloqueo de los valores de clorofila a según el período en que se encontraba la marea, con este bloqueo se compararon los tres meses entre sí con las pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis y suma de rangos para muestras independientes de Wilcoxon que mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los meses de muestreo para todos los períodos de marea (tabla XV).

**Tabla XV.-** Análisis no paramétricos Kruskal-Wallis y suma de rangos para muestras independientes de Wilcoxon (a un  $\alpha = 0.05$ ) para clorofila a, según el intervalo de marea para los tres períodos de muestreo en San Felipe.

| Período de Marea | Feb-May |          | Feb-Sep |          | May-Sep |          |
|------------------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|
|                  | Prueba  | Decisión | Prueba  | Decisión | Prueba  | Decisión |
| vivas            | KW      | S        | -       | -        | -       | -        |
| posvivas         | W       | S        | W       | S        | W       | S        |
| premuertas       | -       | -        | -       | -        | KW      | S        |
| muertas          | -       | -        | -       | -        | KW      | S        |
| posmuertas       | -       | -        | W       | S        | -       | -        |
| previvas         | -       | -        | -       | -        | -       | -        |

**S** = diferencias estadísticamente significativas; **NS** = sin diferencias estadísticamente significativas.

El ACP aplicado a los tres meses juntos no presentó ninguna asociación entre la concentración de clorofila a con la marea y temperatura (tabla XVI).

**Tabla XVI.-** Coeficientes de correlación entre las variables ambientales y los componentes significativos calculados del ACP para los tres períodos de muestreo en San Felipe.

| variable               | CP1           | CP2           | CP3           | CP4          |
|------------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| clorofila a [alta]     | -0.143        | -0.249        | -0.100        | <b>0.739</b> |
| clorofila a [promedio] | -0.264        | <b>-0.416</b> | 0.068         | -0.328       |
| clorofila a [baja]     | 0.360         | <b>0.523</b>  | 0.035         | -0.306       |
| temperatura alta       | <b>-0.592</b> | 0.244         | -0.006        | -0.158       |
| temperatura promedio   | 0.085         | 0.264         | <b>-0.498</b> | 0.222        |
| temperatura baja       | 0.250         | -0.401        | <b>0.481</b>  | -0.100       |
| marea viva             | <b>-0.589</b> | 0.132         | 0.060         | -0.132       |
| marea de transición    | 0.002         | 0.312         | <b>0.510</b>  | 0.240        |
| marea muerta           | 0.116         | -0.294        | <b>-0.491</b> | -0.306       |

### 3.3.1 Septiembre.

La clorofila *a* en general tuvo un comportamiento muy homogéneo durante el muestreo, mostró un punto máximo en marea posmuerta de 3.742 mg Cl a m<sup>-3</sup>, y un mínimo de 0.267 mg Cl a m<sup>-3</sup> en marea posvivas; no mostró una tendencia marcada de aumentar o disminuir con el cambio en la amplitud de la marea (Fig. 8a); pero en la Figura 8c, se observa una asociación directa entre la concentración de clorofila *a* y la altura de marea durante todo el muestreo.

La temperatura fluctuó entre 30.0 °C y 32.7 °C, se observó un comportamiento más estable al inicio del período de premuertas, presentando un promedio de 31.39 °C (Fig. 8b).

El análisis no paramétrico de suma de rangos para muestras independientes de Wilcoxon aplicado a los valores de clorofila *a* para comparar los días según el estados de marea a que correspondieron, (tabla XVII) no evidenció diferencias estadísticamente significativas en mareas posvivas y posmuertas, pero sí mostró diferencias significativas para mareas muertas.

**Tabla XVII.-** Análisis no paramétricos Kruskal-Wallis y de suma de rangos para muestras independientes de Wilcoxon (a un  $\alpha = 0.05$ ) para clorofila *a*, según el intervalo de marea para San Felipe en septiembre.

| Intervalo de marea | # de días | Prueba | Decisión |
|--------------------|-----------|--------|----------|
| vivas              | 1         | -      | -        |
| posvivas           | 2         | KW     | NS       |
| premuertas         | 1         | -      | -        |
| muertas            | 2         | W      | S        |
| posmuertas         | 2         | KW     | NS       |

**S** = diferencias estadísticamente significativas; **NS** = sin diferencias estadísticamente significativas.

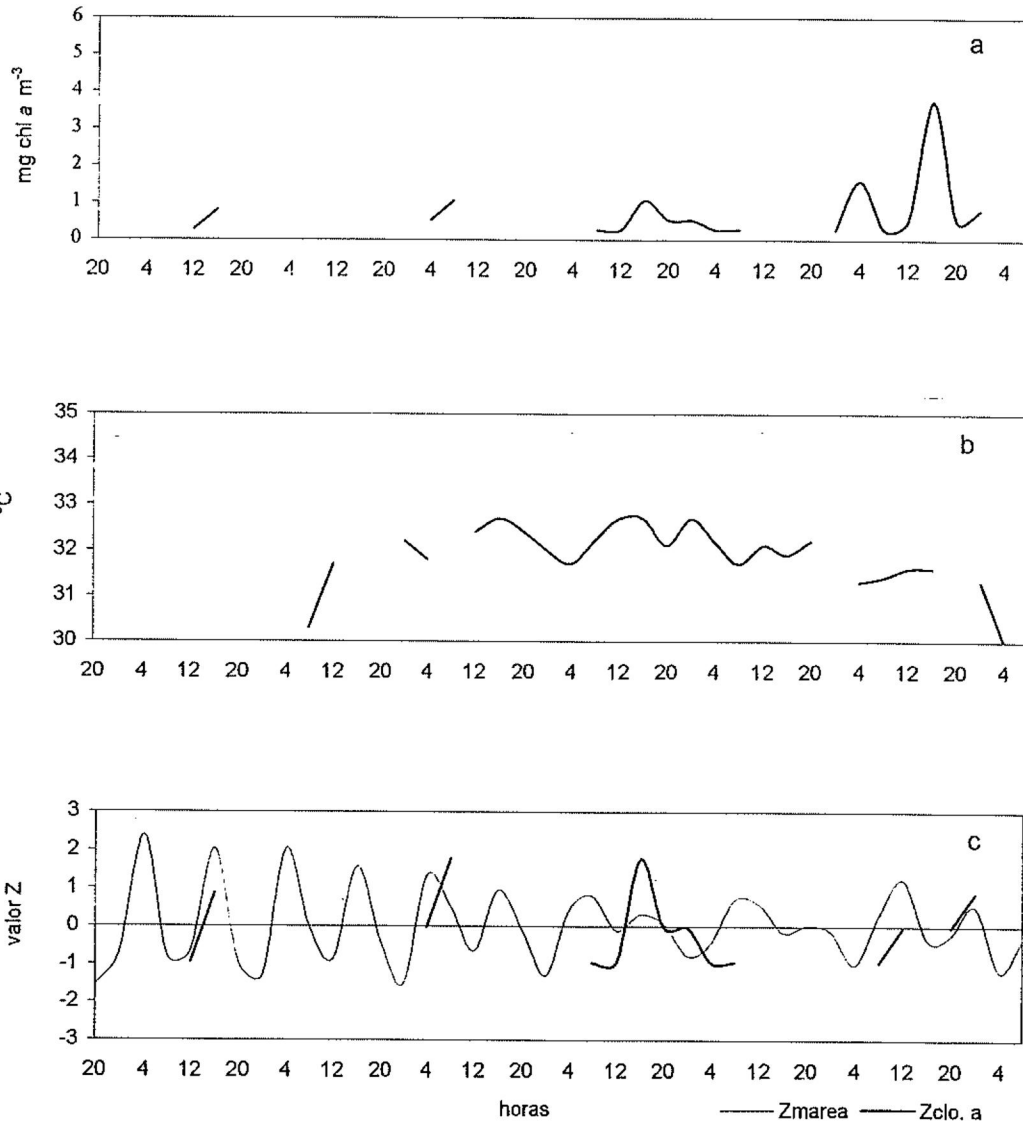


Fig. 8.- Variación temporal para San Felipe en septiembre; a) clorofila a mg m<sup>-3</sup>, b) temperatura °C, c) transformaciones Z de altura de marea y clorofila a

El ACP mostró que bajas se presentaron concentraciones bajas de clorofila a cuando hay temperaturas y que concentraciones altas de clorofila a no se presentan con temperaturas bajas, (CP1) y en el segundo componente mostró que cuando hay mareas vivas o de transición se presentan concentraciones promedio de clorofila a (tabla XVIII).

**Tabla XVIII.-** Coeficientes de correlación entre las variables ambientales y los componentes significativos calculados del ACP para San Felipe en septiembre.

| variable               | CP1           | CP2           | CP3           | CP4           |
|------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| clorofila a [alta]     | <b>0.397</b>  | 0.357         | 0.191         | -0.165        |
| clorofila a [promedio] | 0.356         | <b>-0.499</b> | 0.007         | 0.078         |
| clorofila a [baja]     | <b>-0.549</b> | 0.103         | -0.145        | 0.064         |
| temperatura alta       | 0.171         | -0.280        | <b>-0.661</b> | -0.046        |
| temperatura promedio   | 0.279         | 0.332         | 0.281         | <b>-0.364</b> |
| temperatura baja       | <b>-0.395</b> | -0.012        | 0.392         | 0.348         |
| marea viva             | 0.162         | <b>-0.434</b> | 0.420         | 0.210         |
| marea de transición    | -0.314        | -0.115        | -0.045        | <b>-0.671</b> |
| marea muerta           | 0.163         | <b>0.472</b>  | -0.309        | 0.461         |

### 3.2.2 Febrero.

Se registró un comportamiento homogéneo de la clorofila *a*; fluctuó entre de 0.267 mg Cl a m<sup>-3</sup> en marea viva y un máximo de 3.208 mg Cl a m<sup>-3</sup> en marea posviva, el valor promedio fue de 1.482 mg Cl a m<sup>-3</sup>, no se presentó una relación clara de aumento o disminución en relación con el período de marea (Fig. 9a); pero en la figura 9d se observó una relación inversa entre la altura de marea y la concentración de clorofila.

La variación en la temperatura los 4 primeros días correspondientes a marea posmuerta y previva fue mínima, en general se observó un comportamiento homogéneo; se presentaron dos máximos de 18.8 °C y 18.5 °C durante el período de marea posviva hacia el final del período de muestreo, el valor promedio del período estudiado fue de 16.63 °C (Fig. 9b).

El análisis no paramétrico de suma de rangos para muestras independientes de Wilcoxon aplicado a los valores de clorofila *a* para comparar los días según los estados de marea a que correspondieron (tabla XIX), no presentó diferencias estadísticamente significativas en mareas previvas y vivas, pero si presentó diferencias significativas en posmuertas.

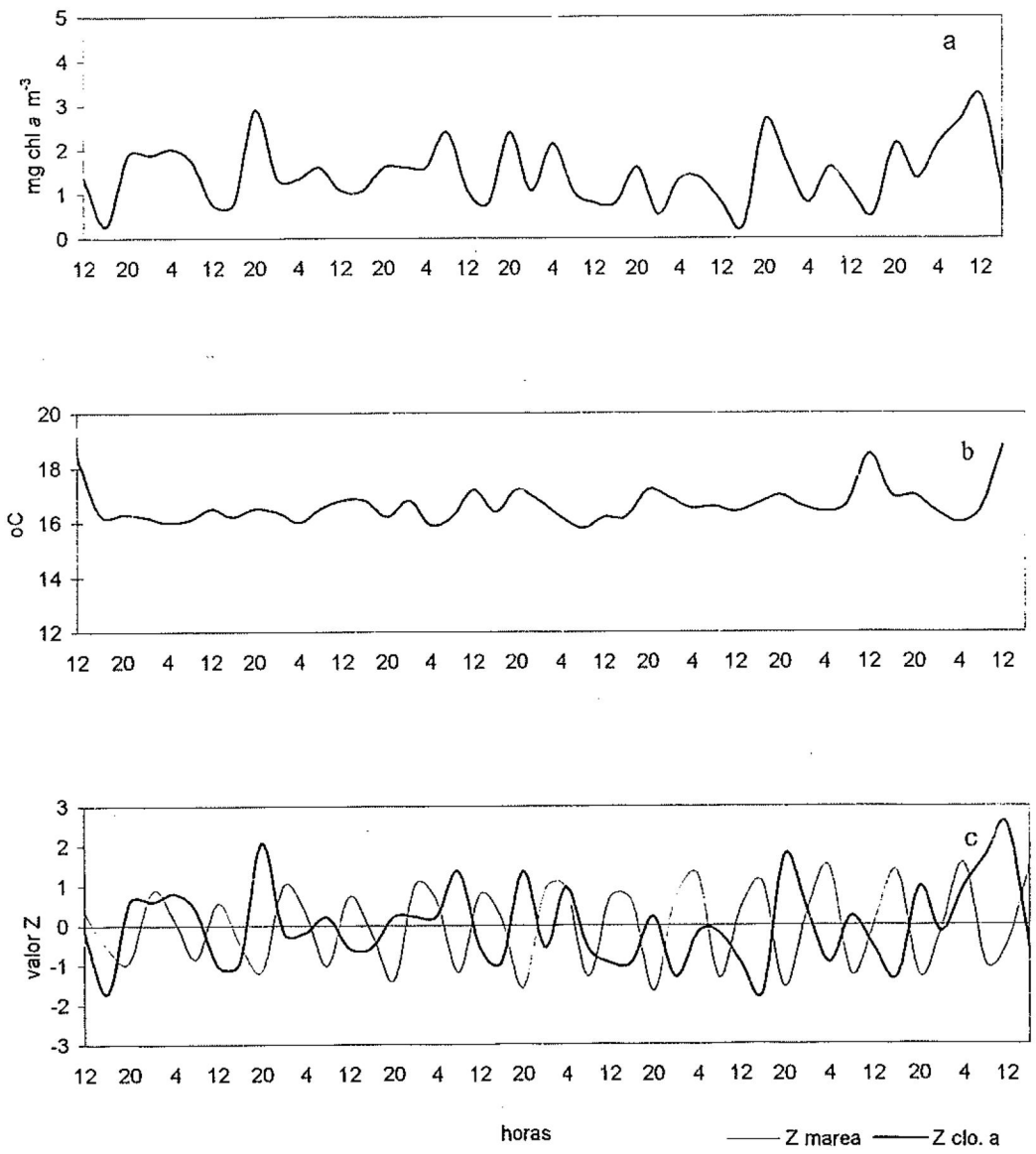


Fig. 9.- Variación temporal para San Felipe en febrero; a) clorofila a mg m<sup>-3</sup>, b) temperatura °C, c) transformaciones Z de altura de marea y clorofila a.

**Tabla XIX.-** Análisis no paramétrico de suma de rangos para muestras independientes de Wilcoxon (a un  $\alpha = 0.05$ ) para clorofila a, según el intervalo de marea para San Felipe en febrero.

| Intervalo de marea | # de días | Decisión |
|--------------------|-----------|----------|
| posmuertas         | 2         | S        |
| previvas           | 2         | NS       |
| vivas              | 3         | NS       |
| posvivas           | 1         | -        |

**S** = diferencias estadísticamente significativas; **NS** = sin diferencias estadísticamente significativas.

El ACP presentó dos relaciones en el segundo componente que indican que cuando hay mareas de transición se presentan bajas concentraciones de clorofila a y que estas no presentan concentraciones promedio de clorofila a; en el CP4 mostró que con temperaturas altas se presentan concentraciones altas de clorofila a (tabla XX).

**Tabla XX-** Coeficientes de correlación entre las variables ambientales y los componentes significativos calculados del ACP para San Felipe en febrero.

| variable               | CP1           | CP2           | CP3           | CP4          |
|------------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| clorofila a [alta]     | -0.213        | 0.079         | 0.428         | <b>0.603</b> |
| clorofila a [promedio] | -0.192        | <b>0.505</b>  | -0.191        | -0.217       |
| clorofila a [baja]     | 0.344         | <b>-0.495</b> | -0.201        | -0.327       |
| temperatura alta       | 0.166         | -0.270        | -0.000        | <b>0.456</b> |
| temperatura promedio   | <b>0.537</b>  | 0.143         | 0.182         | -0.070       |
| temperatura baja       | <b>-0.602</b> | -0.060        | -0.184        | -0.203       |
| marea viva             | 0.023         | 0.090         | <b>0.628</b>  | -0.362       |
| marea de transición    | -0.259        | <b>-0.525</b> | -0.085        | 0.089        |
| marea muerta           | 0.233         | 0.336         | <b>-0.520</b> | 0.298        |

### 3.3.3 Mayo.

La clorofila *a* presentó un promedio de 4.491 mg Cl a m<sup>-3</sup> con un pico máximo de 10.0 mg Cl a m<sup>-3</sup> en marea viva, durante este mes las variaciones en la concentración de clorofila *a* fueron muy marcadas y no se apreció una relación clara con el cambio en la amplitud de marea, al cambiar la marea de viva a muerta se registró una ligera estabilización en la concentración de clorofila *a* (Fig. 10a); sin embargo, la figura 10c mostró en el período de marea viva y posviva que al aumentar el intervalo de marea disminuye la concentración de clorofila *a*, pero hacia el final del muestreo durante el período de marea muerta la concentración de clorofila aumenta y disminuye al igual que la marea.

La temperatura fluctuó entre 22.20 °C y 24.1 °C, presentó un comportamiento homogéneo con tendencia a estabilizarse hacia la mitad del muestreo cuando la marea pasó de viva a muerta, presentó un promedio de 23.47 °C (Fig. 10b).

El análisis no paramétrico de suma de rangos para muestras independientes de Wilcoxon aplicado a los valores de clorofila *a* para comparar los días según el estados de marea a que correspondieron (tabla XXI), solo presentó diferencias estadísticamente significativas para marea viva.

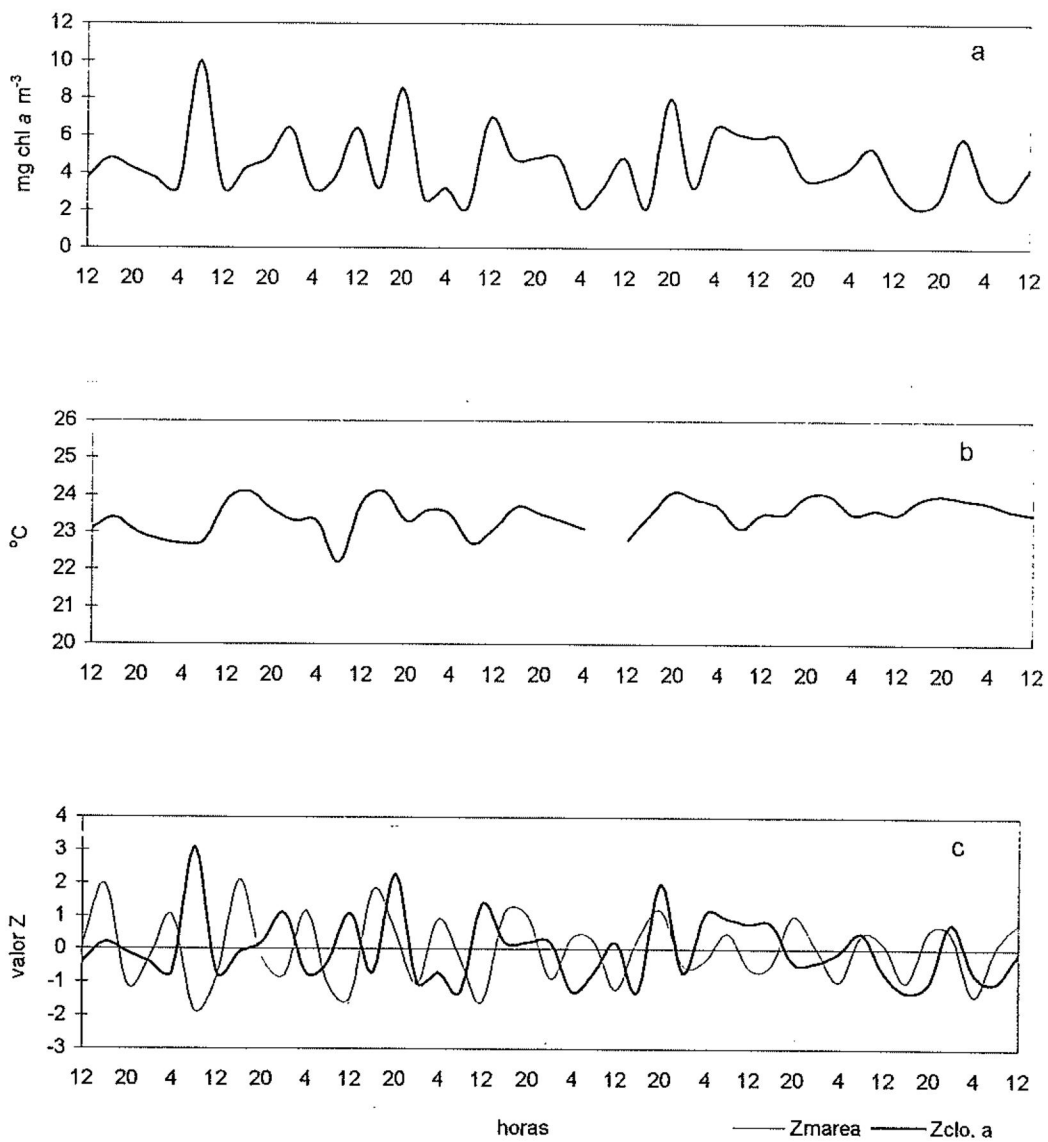


Fig. 10 .- Variación temporal para San Felipe en mayo; a) clorofila a mg m<sup>-3</sup>, b) temperatura °C, c) transformaciones Z de altura de marea y clorofila a.

**Tabla XXI.-** Análisis no paramétrico de suma de rangos para muestras independientes de Wilcoxon (a un  $\alpha = 0.05$ ) para clorofila a, según el intervalo de marea para San Felipe en mayo.

| Intervalo de marea | # de días | Decisión |
|--------------------|-----------|----------|
| vivas              | 2         | S        |
| posvivas           | 1         | -        |
| premuertas         | 2         | NS       |
| mueratas           | 2         | NS       |

**S** = diferencias estadísticamente significativas; **NS** = sin diferencias estadísticamente significativas.

En el CP3 el ACP mostró que cuando hay temperaturas medias se presentan altas concentraciones de clorofila a y que no se presentan en temperaturas bajas (tabla XXII).

**Tabla XXII-** Coeficientes de correlación entre las variables ambientales y los componentes significativos calculados del ACP para San Felipe en mayo.

| variable               | CP1           | CP2           | CP3           | CP4           |
|------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| clorofila a [alta]     | -0.079        | -0.223        | <b>-0.617</b> | 0.407         |
| clorofila a [promedio] | -0.216        | <b>-0.385</b> | 0.348         | 0.157         |
| clorofila a [baja]     | 0.281         | <b>0.497</b>  | 0.213         | -0.373        |
| temperatura alta       | <b>-0.600</b> | 0.024         | 0.006         | -0.275        |
| temperatura promedio   | 0.077         | 0.328         | <b>-0.409</b> | -0.006        |
| temperatura baja       | 0.315         | -0.316        | <b>0.441</b>  | 0.228         |
| marea viva             | <b>-0.564</b> | -0.032        | 0.099         | -0.240        |
| marea de transición    | -0.184        | 0.422         | 0.206         | <b>0.511</b>  |
| marea muerta           | 0.225         | -0.409        | -0.196        | <b>-0.474</b> |

#### 4. Discusiones

Las pruebas estadísticas realizadas para observar la variación en el tiempo de las tres variables (tabla II) mostraron que la concentración de clorofila *a* y temperatura presentaron diferencias significativas entre los distintos meses de muestreo, en cambio la marea no presentó diferencias significativas lo cual puede deberse a que la influencia de los cambios estacionales está disminuida por la gran energía cinética turbulenta presente en la zona tal como menciona Santamaría-del-Angel (1994) para el triángulo formado por las dos localidades de estudio y el Delta del Río Colorado donde la fuerte mezcla por fenómenos asociados a la marea, el viento y el calentamiento solar crean una vigorosa circulación que puede enmascarar la variación estacional; sin embargo en las figuras 5a, 6a y 7a podemos observar que en el mes de febrero la diferencia en la amplitud de marea viva y muerta fue menor que en los otros meses,

El Análisis de Componente Principal (ACP) aplicado a todos los datos registrados en este estudio (tabla IV) mostró que, las concentraciones promedio en marea muerta y las concentraciones bajas en marea viva; este mismo análisis se aplicó a cada localidad por separado y se pudo apreciar que para Santa Clara, Son. la relación entre altas concentraciones de clorofila *a* presentes en marea de transición se volvió a presentar (tabla VII), sin embargo San Felipe, B.C. no presentó ninguna asociación (tabla XVI), por lo que se supone que la influencia de la mezcla por mareas es menor en el Alto Golfo, esto concuerda con Santamaría del Angel *et. al.*, (1994), que menciona que el fitoplancton crece mejor en turbulencia moderada (marea de transición) que en alta; y Guillén-Mendez (1993) señala diferencias significativas en el comportamiento de nutrientes entre marea viva y muerta para Santa Clara, Son. mientras que para San Felipe, B.C. no se presentan.

Una de las causas de esta tendencia puede ser que las velocidades máximas de la corriente de marea se alcanzan justo después de la marea intermedia, lo cuál produce una mayor resuspensión de sedimentos de fondo e incrementa la concentración de sedimento en suspensión en la columna de agua (Cupul-Magaña, 1994).

En un estudio paralelo al presente Guillén-Méndez (1993) y Mascorro-Segura (1994) reportaron que la concentración promedio de nutrientes, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto durante los tres períodos de muestreo se mantuvieron muy similares en las dos localidades, siendo ligeramente mayores y más variables en función con la marea en Santa Clara, Son. que en San Felipe, B.C., sin embargo para la concentración de clorofila *a* y temperatura se observaron diferencias significativas entre las dos localidades de muestreo en los tres períodos de muestreo (tabla III), al igual que nosotros Orozco-Borbón (1994) encontró diferencias significativas entre esta dos localidades para los valores de abundancia y biomasa bacteriana que mostraron ser un 25% mas bajos en San Felipe, B.C. que en Santa Clara, menciona como factores que determinan estas diferencias a la marea y tipo de sedimento, por lo cuál se puede pensar que las diferencias observadas entre variables de las dos localidades pueden deberse a procesos particulares de cada zona como es el prisma de marea, ya que en San Felipe, B.C. se reportan valores máximos de 6.95 m (Gutiérrez y González, 1989), mientras que en Santa Clara, hasta de 9.0 m (Matthews, 1989).

Otro importante factor que puede provocar diferencias en la concentración de clorofila *a* encontrada en cada localidad es la turbidez ya que Santa Clara, Son. es una zona caracterizada por una fuerte mezcla por mareas donde autores como García-Lepe (1974), Santamaría-del-Angel *et al.*, (1996) y Cupul-Magaña (1994) han reportado valores que van de 78 mg/l en Santa Clara en mayo y máximos hasta 180 mg/l de sólidos totales cerca de Isla Montague, con profundidades de disco de Secchi desde los 5 cm en m vivas, hasta 1.5 m en

muerta enfrente del poblado de Santa Clara, Son., mencionan que la gran cantidad de material en suspensión es de carácter constante y donde el mayor porcentaje es materia orgánica cuyo principal agente de distribución es la corriente neta del Alto Golfo; la elevada turbidez de esta zona es aún más evidente al comparar con los valores de 40 a 80 mg/l de sólidos totales y profundidades de disco de Secchi que van de 0.39 y 1.50 m, reportados por Joint (1983) para el canal de Bristol, Inglaterra los cuales lo llevan a considerar a esta zona como un sistema altamente turbio donde también menciona a la marea como la causante de la resuspensión del seston.

Tomando en cuenta la elevada turbidez sería de esperar que en Santa Clara la producción orgánica primaria fuera escasa, sin embargo para esta región Barocio-León (1991) reporta valores entre 1.82 y 18.27 mg Chl *a* m<sup>-3</sup>, de igual manera se registraron concentraciones promedio de clorofila *a* que van de 3.912 a 5.434 mg m<sup>-3</sup> (tabla I), por otra parte Santamaría-del-Angel *et al.*, (1996) indicó que el fitoplancton en esta zona presenta un aumento de la cantidad de clorofila *a* por célula y una mayor eficiencia por unidad de clorofila, adaptación que le permite presentar producciones y razones de asimilación altas, bajo condiciones de luz intermitente, similares a las que se presentan en un medio turbio con mezcla vertical intensa.

En contraste con Santa Clara, Son., en donde existe una mayor concentración de sólidos en suspensión, la región frente a San Felipe, B.C. presenta menor turbidez, García-Lepe (1974) menciona que en el Alto Golfo la zona al sur de Santa Clara, Son. es de erosión y que la zona oeste norte de San Felipe, B.C., es de depositación, y reporta para San Felipe profundidades de disco de Secchi de 2 m, comparando esto con las profundidades de disco de Secchi reportadas por Alvarez-Borrego *et al.*, (1977) para sistemas costeros de Baja California como el Estero de Punta Banda, (2.5 a 4.5 m) y Bahía de San Quintín, (3 m) hacen considerar a San Felipe, como una zona de menor turbidez que Santa Clara.

Esta información sugiere que en San Felipe la columna de agua presenta menor energía de mezcla asociada a la marea y que hay una mayor relación con los parámetros fisicoquímicos, ya que como mencionan Alvarez-Borrego y Galindo-Bect (1974), Guillén-Mendez (1993), Mascorro-Segura (1994) y Hernández-Ayón (1993) aunque en esta zona y el Delta del Río Colorado los nutrientes no son limitantes para el crecimiento fitoplanctónico en ninguna época del año y que el factor que controla los incrementos o decrementos de nutrientes es que tan lejos o que tan cerca este el punto de muestreo de la boca del Delta, San Felipe se encuentra bajo condiciones mas oceánicas donde la influencia de la marea es menor que en Santa Clara.

Esta característica se puede deber a que las mareas se incrementan y la profundidad disminuye hacia el norte; suponemos que por esta razón en San Felipe, B.C. se registraron concentraciones promedio de clorofila *a* entre 0.698 y 4.491 mg m<sup>-3</sup> (tabla I) las cuales son menores que las de Santa Clara.

Tanto en Santa Clara, Son. (tabla V) como en San Felipe, B.C. (tabla XIV y XV) se observa que los valores de la clorofila *a* y temperatura mostraron diferencias significativas entre los meses de muestreo, lo cuál se puede deber tanto a la variación anual de la temperatura como a la del fitoplancton, la unica variable que no presento diferencias significativas entre las dos localidades fué la temperatura en febrero (tabla III), de igual manera en los resultados de las tablas V y VI se puede observar que no hay diferencias significativas en la concentración de clorofila *a* de febrero y septiembre cuando la marea estaba en período de posvivas así como en febrero y mayo en marea viva, este mismo comportamiento fué observado por Mascorro-Segura (1994) que no encontró diferencias significativas entre localidades en los valores de temperatura y oxígeno disuelto para este mes y menciona que para este mes la temperatura mantiene una relación directamente proporcional con respecto al ciclo de marea,

que determinan en gran medida la mezcla de agua muy fría del delta con la del exterior menos fría.

Este comportamiento se debe principalmente a la fuerte energía de mezcla presente en Santa Clara durante el invierno, la cuál ayuda a disminuir el efecto de las bajas temperaturas en la productividad primaria, en cambio en septiembre aunque la mezcla por mareas (principalmente en marea muerta), es mucho menor que en febrero, (fig.5a), las altas temperaturas favorece la productividad primaria, de tal manera que se puede encontrar en Santa Clara, Son. (tabla I) concentraciones similares de clorofila a tanto en verano ( $5.434 \text{ mg m}^{-3}$ ) como en invierno ( $4.315 \text{ mg m}^{-3}$ ).

El ACP en Santa Clara, Son. para septiembre (tabla IX) mostró que las concentraciones promedio de clorofila a se asocian con marea muerta y las concentraciones bajas con marea de transición, por lo cuál podemos aumir que la concentraciones altas se presentan con mareas vivas, estas asociaciones resultan muy parecidas a las de mayo (tabla XIII) donde también se socian las concentraciones altas a marea viva y bajas a marea de transición, estos resultados son contrarios a lo que esperabamos deacyerdo con la tabla IV y con las observaciones de Santamaría-del-Angel (1994) que indica que mareas de mayor poder de mezcla están asociadas con concentraciones de pigmento menores que las concentraciones asociadas a menor poder de mezcla.

Por otra parte se observa en la tabla I que en septiembre y en mayo, el menor nivel de marea es aproximadamente 3 m menor que la marea mas baja de febrero y las marea mas altas son de la misma magnitud que las mas bajas bajas de febrero, de tal manera que aunque los puntos de mayor mezcla son los días que presentaron mareas vivas y los de menor mezcla fueron los días que presentaron mareas muertas (Santamaría-del-Angel, 1994 y Alvarez-Borrego y Galindo-Bect, 1974), se puede suponer que este comportamiento se ve ligeramente disminuido en verano.

Sin embargo en febrero (tabla XI) esta tendencia no se presenta y la única asociación que se observa relaciona concentraciones promedio con temperaturas bajas, esta asociación se explica con las observaciones de Mascorro-Segura (1994) que para febrero en Santa Clara menciona una relación directa con el ciclo de radiación solar, presentando una variación diaria de 1.5 °C, con respecto a los valores de día y noche, mientras que la variación con respecto al ciclo de mareas es de aproximadamente 4 °C, lo cuál concuerda con Santamaría-del-Angel (1994) que menciona que en el invierno las temperaturas superficiales por abajo del promedio regional repercuten en concentraciones de pigmento por arriba del promedio regional y viceversa para verano.

Al igual que en Santa Clara, Son. en el mes de febrero en San Felipe, B.C. el ACP mostró mayor relación con la temperatura que con la marea, principalmente en mayo (tabla XXII), ya que su única asociación relaciona concentraciones altas de clorofila *a* con temperaturas promedio, en tanto que para septiembre (tabla XVIII) y febrero (tabla XX) las concentraciones altas se asocian a temperaturas altas y presentan un componente de concentraciones promedio de clorofila *a* en marea viva, este comportamiento puede deberse a que como se sabe la temperatura superficial tiene un comportamiento proporcional a la amplitud de marea, y que la influencia de la temperatura atmosférica es mas fuerte en aguas someras que en las profundas. Alvarez-Borrogo y Galindo-Bect. (1974) reportan que en septiembre los valores disminuyen hacia marea viva y viceversa en febrero; de igual manera Mascorro-Segura (1994) para el mes de febrero registró en Santa Clara un incremento en la temperatura, de aproximadamente 4 °C, donde se presentan mareas vivas y de 1 °C en San Felipe.

Aunque en los tres períodos de muestreo se intentó abarcar un ciclo completo de marea viva y muerta (fig. 4), las pruebas estadísticas aplicadas para observar las diferencias entre los días que se encontraban en el mismo período

de marea nos indican que para Santa Clara los valores de clorofila *a* en mayo (tabla XII) y febrero (tabla X) tienden a presentar diferencias entre los días hacia el período de muertas y previvas respectivamente, mientras que septiembre (tabla VIII) solo presentó diferencias en posvivas.

Por otra parte en San Felipe las mismas pruebas indicaron que las diferencias en los valores de clorofila *a* que se encontraban en el mismo período de marea en septiembre (tabla XVII) y mayo (tabla XXI) presentan un comportamiento inverso al de Santa Clara, Son., pero en febrero (tabla XIX), estas diferencias muestran un comportamiento similar entre las dos estaciones tendiendo a presentar diferencias entre los días hacia el período de posmuertas.

Por todo lo anterior, y en general se puede pensar que, la variación de la clorofila *a* en Santa Clara, esta más íntimamente relacionada a la energía cinética turbulenta ocasionada con el cambio de periodo de marea de muerta a viva (figuras 5d, 6d y 7d), mientras que en San Felipe las variaciones de la clorofila responden a cambios estacionales, y con una posible asociación solo en flujos y reflujos de la marea (figuras 8d, 9d y 10d).

Un factor que ayuda a entender mejor este comportamiento es que como indican Alvarez-Borrego y Galindo-Bect (1974), García-Lepe (1974), Hernández-Ayón (1993) y Cupul-Magaña (1994) el Alto Golfo existe una circulación contraria a las manecillas del reloj y por lo tanto se debe observar una influencia de las condiciones hidrológicas de la zona circundante a Isla Montague en la zona cercana a la costa de Baja California (aproximadamente 20 Km arriba de San Felipe) y que la influencia de las condiciones hidrológicas de la región oceánica del golfo en la zona cercana a la costa de Sonora (al sur de Santa Clara), sin embargo, en Santa Clara se registran elevadas concentración de nutrientes y sólidos en suspensión debido principalmente a los procesos de flujo y reflujo y no a las corrientes de marea, ya que en San Felipe, B.C. se observa un patrón de sedimentación donde las corrientes de marea tienen una menor influencia.

En general en las dos localidades. la temperatura presentó un comportamiento muy homogéneo en los tres meses, aunque fué mas estable en los períodos correspondientes a mareas muertas, ya que como menciona Cupul-Magaña (1994) durante las mareas muertas la influencia de las condiciones atmosféricas es mas marcada.

Al igual de Mascorro-Segura (1994), en Santa Clara la temperatura en el mes de febrero (figura 6c) mostró una ligera tendencia a aumentar hacia marea viva, éste comportamiento no se observó en San Felipe, ya que en general los valores fueron muy homogéneos (figura 9c), lo cual como ya se explicó con anterioridad, hace pensar que este comportamiento se debe a la fuerte mezcla producida por la marea durante el invierno en Santa Clara, Son.

Alvarez-Borrego y Galindo-Bect (1974) indican que aún en invierno, con temperaturas atmosféricas bajas la evaporación es considerable y los valores de porcentaje de saturación de oxígeno disuelto del periodo frío están por sobre el 100%. Esto puede deberse a que en la época de invierno se observa un máximo de concentración de pigmentos fotosintéticos para la región; un punto importante que resaltar con esta información es el alto promedio de concentración de clorofila *a* ( $4.315 \text{ mg m}^{-3}$ ) registrado en febrero en Santa Clara, Son. (tabla I), que fué muy similar al promedio más alto de concentración de clorofila *a* registrado en San Felipe, B.C. ( $4.491 \text{ mg m}^{-3}$ ), este hecho llama la atención ya que evidencia de manera especial la fuerte relación que presentan la concentración de clorofila *a* y los procesos de mezcla, (principalmente por mareas), en Santa Clara, Son.

## 5. Conclusiones

La concentración de clorofila *a* presentó mayores promedios y relación con el periodo de la marea en Santa Clara, Son. que en San Felipe, B.C.

En Santa Clara, Son. se asocian concentraciones altas de clorofila *a* con marea viva, concentraciones promedio en marea muerta y concentraciones bajas a marea de transición. Lo anterior puede indicar que la concentración de clorofila *a* en Santa Clara, Son. está regulada por la fuerte energía de mezcla asociada al amplio intervalo de mareas, la cuál tuvo un efecto positivo en la concentración durante los tres periodos de muestreo.

En San Felipe, B.C. se encontró una relación de la variación de la clorofila *a* con el ciclo anual de temperatura, presentándose, las mayores concentraciones en invierno con marea muerta y en verano con marea viva. Así mismo se encontró una relación gráfica no tan fuerte de la clorofila *a* con el cambio diario de la marea (flujo-reflujo). Ambos resultados hacen suponer que para San Felipe, la concentración de clorofila *a* esta más regulada por cambios estacionales de temperatura que por los ciclos diarios de marea.

## 6. LITERATURA CITADA

- ALVAREZ-BORREGO, S.** (1980). Ecología de lagunas costeras y mares adyacentes de Baja California. Discusiones internas sobre labores de investigación y docencia. CICESE. Ensenada, B.C. pp. 130-137.
- ALVAREZ-BORREGO, S.** (1983). Gulf of California. Estuaries and enclosed seas, edited by B.H. Ketchum; Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam. Cap. 7:427-449.
- ALVAREZ-BORREGO, S. y Galindo-Bect, L.A.** (1974). Hidrología del Alto Golfo de California. I. Condiciones durante otoño. Ciencias Marinas, 1(1):46-64.
- ALVAREZ-BORREGO, S. y Lara-Lara, J.R.** (1991). The Physical Environment and Primary Productivity of the Gulf of California. In: B.R.T. Simoneit and J.P. Dauphin (eds.) The Gulf and Peninsular Province of the Californias. Am. Assoc. Petr. Geo. Memor. Chapter 26 47:555-567.
- ALVAREZ-BORREGO, S., Lara-Lara, J.R. y Acosta-Ruiz M.J,** (1977). Parámetros relacionados con la Producción orgánica primaria en dos antiestuarios de Baja California. Ciencias Marinas 4(1): 12-22.
- BADAN-DANGON, A., Koblinsky, C.J., Baumgartner, T.** (1985). Spring and summer in the Gulf of California: Observations of surface thermal patterns. Oceanologica Acta. 8(1):13-22.
- BAROCIO-LEON, O.A.** (1991). Productividad orgánica primaria en la región del Delta del Río Colorado. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California, Ens. México. 52 p.

- BONETTO, C.A.** (1983). Phytoplankton and primary production of the Parana Medio River. *ECOSUR*. 2(19-20), pp. 79-102.
- BOURILLON-MORENO, L., Cantú-Díaz, A., Eccardi-Ambrosi, F., Lira-Fernández, E., Ramírez-Ruíz, J., Velarde-González, E. y Zavala-González, A.** (1988). Islas del Golfo de California. Coedición Secretaría de Gobernación/UNAM. México. pp. 59-75.
- BUSTOS-SERRANO, H.** (1996). Efecto de la marea en la productividad orgánica primaria en una laguna costera del Canal de Ballenas, Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 22(2): 215-233.
- CARRANZA-EDWARDS, A., Gutiérrez-Estrada M. y Rodríguez, T.R.** (1975). Unidades morfotectónicas continentales de las costas mexicanas. *An. Centr. Ciencias del Mar y Limnología. UNAM*. 2(1):81-88.
- CLOERN, J.E.** (1987). Turbidity as a control of phytoplankton biomass and productivity in estuaries. *Continental Shelf Research*. 7(11-12).
- CUPUL-MAGAÑA, A. L.** (1994). Flujos de sedimento en suspensión y de nutrientes en la cuenca estuarina del Río Colorado. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, México. pp 116.
- DAVALOS, L., Lind, O.T., Doyle, R.D.** (1989). Evaluation of phytoplankton limiting factor in lake Chapala, México: Turbidity and the spatial and temporal variation in algal assay response. *Lake reservoir manage*. 5(2): 99-104.
- GARCIA-LEPE, M. G.** (1974). Elementos sobre la distribución de turbidez en el

Alto Golfo de California. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas. Ensenada, México.

**GONZALEZ-CASILLAS, E.** (1991). Contaminación salina del Río Colorado. Travesía. 24:12-21.

**GRANADOS-GUZMAN, A., Hidalgo-González, R.** (1994). Variabilidad temporal de temperatura en dos localidades del Alto Golfo de California de marzo de 1990 a marzo de 1993. Informe Técnico. Comunicaciones Académicas, serie ecología. CICESE. CIECT9402. pp. 27.

**GUILLEN-MENDEZ, Z.L.** (1994). Variación temporal de nutrientes en dos localidades en el Alto Golfo de California. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, México. pp. 49.

**GUTIERREZ, G. y González, J.I.** (1989). Predicciones de mareas de 1990: Estaciones mareográficas del CICESE. Informe técnico OC-89-01, CICESE, Ensenada, B.C., México., 129 pp.

**HERNANDEZ-AYON, J.M., Galindo-Bect, M.S., Flóres-Baez, B.P. y Alvarez-Borrego, S.** (1993). Nutrient concentrations are high in the turbid waters of the Colorado River Delta. Est. Cstl. Shelf. Sci., 37:593-602.

**JOINT, I. R.** (1983). Development of an ecosystem model of a turbid estuary. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 40(Suppl. 1):341-348.

**LECHUGA-DEVESE, C.H.** (1978). Coeficiente de asimilación fotosintética en la Ensenada de la Paz, B.C.S. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, México. pp. 50.

- LEPLEY, L.K., Vonder Haar, S.P., Hendricson, J.R. y Calderón, R.G. (1975).** Circulation in the Northern Gulf of California from orbital photographs and ship investigations. *Ciencias Marinas*, 2(2): 86-93.
- MARGALEF, R. (1978).** *Ecología*. Ed. Omega. Barcelona, España. 2a edición. pp. 951.
- MASCORRO-SEGURA, R. de J. (1994).** Variación de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en dos localidades del Alto Golfo de California. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, México. pp. 31.
- MATHEWS, J.B. (1969).** Tides in the Gulf of California. In: D.A. Thomson (ed); *Environmental impact of Brine effluents on Gulf of California, U.S.* Dept. Int. Res. Dev. Prog. Rep; No. 387.
- MECKEL, L.D. (1975).** Holocene sand bodies in the Colorado Delta Area, Northern Gulf of California. In: *Deltas models for exploration*. Houston Geological Society. pp. 239-266.
- MILLAN-NUÑEZ, E. (1981).** Variabilidad espacial y temporal de fitoplancton y su productividad orgánica en una laguna costera. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, México. pp. 55.
- MILLAN-NUÑEZ, R. y ALVAREZ-BORREGO, S. (1978).** Ecuaciones espectrofotométricas tricromáticas para la determinación de clorofila *a*, *b* y *c* y sus feofitinas. *Ciencias Marinas*. 5(1):47-55.
- MILLAN-NUÑEZ, R., Alvarez-Borrego, S. y Nelson, D.M. (1982).** Effects of physical phenomena on distribution of nutrients and phytoplankton in a

coastal lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. (15):317-335.

**MILLAN-NUÑEZ, R., Santamaría-del-Angel E. y Barocio-Leon O.A.** (1998).

Productividad orgánica primaria en el Delta del Río Colorado. *Ciencias Marinas*. sometida.

**MIRANDA-REYES, F., Reyes-Coca, S., Espinoza-Ibarra, J.G., García-López,**

**J.** (1991). Climatología en la región noreste de México (Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa). Parte II.- Temperatura: series de tiempo del valor mensual y estadísticas del año climatológico. En: *Estudios del balance de agua (EBA)....CICESE*. Reporte Técnico CIOFT9108.

**OROZCO-BORBON, M.V.** (1995). Producción y biomasa del bacterioplancton en

el Delta del Río Colorado y San Felipe, B.C., Golfo de California. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, México. pp. 69.

**PROGRAMA DE MANEJO RESERVA DE LA BIOSFERA ALTO GOLFO DE**

**CALIFORNIA Y DELTA DEL RIO COLORADO.** (1994). Sub Programa de Investigación Científica y Evaluación Sistemática. pp. 32.

**RODEN, G.I.** (1957). Oceanographic and meteorological aspects of the Gulf of

California. *Pacific Science*, 12: 941-965.

**SANTAMARIA-DEL-ANGEL, E.** (1994). El color de las aguas del Golfo de

California registrado por el CZCS: Relaciones de la biomasa fitoplanctónica y los procesos físicos de mezcla. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, México.

- SANTAMARIA-DEL-ANGEL, E., Alvarez-Borrego, S. y Muller-Karger, F.E.** (1994). Gulf of California biogeographic regions based on coastal zone color scanner imagery. *Journal of Geophysical Research*, 99 (c4) p.7411-7421.
- SANTAMARIA-DEL-ANGEL, E., Millán-Núñez, R., De la Peña-Nettel, G.** (1996). Efecto de la turbidez en la productividad primaria en dos estaciones en el área del Delta del Río Colorado. *Ciencias Marinas* 22(4):483-493.
- STRICKLAND, J.D.H. and Parsons, T.R.,** (1972). A practical handbook of seawater analysis. Second edition. Fish. Res. Bd. Can. Bull. 167. Ottawa, Canada. pp. 310.
- UNCLES, R.J. and Joint.** (1983). Vertical mixing and its effects on phytoplankton growth in a turbid estuary. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40(Suppl.1):221-228.
- WADSWORTH, H. M.,** (1990). Handbook of statistical methods for engineers and scientists. Ed, McGraw-Hill. First edition. N.Y. 310 p.