

03067  
2  
29.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

UNIDAD ACADÉMICA DE LOS CICLOS  
PROFESIONALES Y DE POSGRADO DEL  
COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES

PROYECTO ACADÉMICO ESPECIALIZACIÓN,  
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS DEL MAR

**EXPLORACIÓN DEL EFECTO DE LOS PARÁMETROS  
AMBIENTALES, EN LA DIVERSIDAD  
ICTIOFAUNÍSTICA DEL SISTEMA COSTERO,  
TEACAPAN AGUA-BRAVA NAYARIT, MÉXICO**

Tesis que para obtener el grado de  
MAESTRO EN CIENCIAS DEL MAR  
(Oceanografía Biológica y Pesquera)

Presenta

Benjamin Alvares Rubio.

264055

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA**

**UNIDAD ACADÉMICA DE LOS CICLOS  
PROFESIONALES Y DE POSGRADO DEL  
COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES**

**PROYECTO ACADÉMICO ESPECIALIZACIÓN,  
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS DEL MAR**

**EXPLORACIÓN DEL EFECTO DE LOS PARÁMETROS  
AMBIENTALES, EN LA DIVERSIDAD  
ICTIOFAUNÍSTICA DEL SISTEMA COSTERO,  
TEACAPAN AGUA-BRAVA NAYARIT, MÉXICO**

**Jurado de examen**

---

David A. Salas de León  
Director de tesis

---

Virgilio Arenas Fuentes  
Presidente

---

Ignacio Méndez Ramírez  
Vocal

---

Adolfo Gracia Gasca  
Suplente

---

Adolfo Molina Cruz  
Suplente

## **AGRADECIMIENTOS**

Un agradecimiento especial al Dr. David A. Salas de León, por la dirección y el apoyo incondicional que me brindo para el desarrollo de esta investigación

Al Dr. Ignacio Méndez Ramírez, por su asesoría en la parte estadística.

A los Doctores: Virgilio Arenas Fuentes, Adolfo Gracia Gasca y Adolfo Molina Cruz, por la asesoría y sugerencias durante el desarrollo de esta tesis.

A la Dra. Adela Monreal y al Dr. Felipe Amezcua Linares, por los comentarios y observaciones en la revisión del presente trabajo.

# CONTENIDO

CAPITULO I	
Introducción-----	6
Antecedentes-----	8
Objetivos-----	12
Hipótesis-----	12
CAPITULO II	
Descripción del área de estudios-----	13
CAPITULO III	
Metodología-----	16
Muestreo de parámetros biológicos-----	16
Estaciones de muestreo-----	17
Actividades realizadas-----	18
Análisis estadístico-----	20
Diversidad-----	20
Análisis de regresión-----	20
Análisis de senderos-----	21
Escalamiento Multidimensional-----	27
Muestreos de Parámetros Físicos-----	27
Actividades Realizadas-----	28
Equivalencia Geográfica de las Estaciones de Muestreo-----	30
CAPITULO IV	
RESULTADOS-----	31
Características hidrodinámicas-----	31
Características hidrodinámicas y resultados de los muestreos físicos en el sistema estuarino lagunar Teacapán-Agua Brava -----	31
Resultados de los muestreos de los parámetros ambientales efectuados durante los muestreos de los parámetros biológicos-----	51
Análisis de la diversidad-----	51
Análisis de regresión-----	53
Análisis de senderos-----	56
Análisis del escalamiento multidimensional-----	59
CAPITULO V	
Discusión-----	62
Conclusiones -----	69
Referencias-----	70

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.- Ubicación geográfica y batimetría del sistema estuarino lagunar Teacapán - Agua Brava.....14
- Figura 2.- Distribución de estaciones del muestreo biológico .....19
- Figura 3.- Relación general de las posibles combinaciones causales de los parámetros ambientales sobre la diversidad, para el sistema estuarino lagunar Teacapán - Agua Brava .....26
- Figura 4.- Distribución de estaciones del muestreo físico .....29
- Figura 5.- Distribución de: a) oxígeno ( $\text{mg l}^{-1}$ ) y b) salinidad ( $^{\circ}/_{00}$ ), en las estaciones de muestreo. Campaña del 18 al 21 de enero de 1993 .....38
- Figura 6.- Distribución de: a) transparencia (profundidad del Disco de Secchi en metros) y b) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), en las estaciones de muestreo. Campaña del 18 al 21 de enero de 1993 .....39
- Figura 7.- Distribución de la magnitud de la velocidad ( $\text{m s}^{-1}$ ) en las estaciones de muestreo, en: superficie, 50 % y 75 % de la profundidad. Campaña del 18 al 21 de enero de 1993 .....40
- Figura 8.- Cambio de la salinidad ( $^{\circ}/_{00}$ ) y anomalía de la superficie libre del agua (m), para: a) estación 1, b) estación 2, c) estación 3, y d) estación 4. Campaña del 18 al 21 de enero de 1993 .....41
- Figura 9.- Cambio de la salinidad ( $^{\circ}/_{00}$ ) y anomalía de la superficie libre del agua (m), para: a) estación 5, b) estación 6, c) estación 7, y d) estación 8. Campaña del 18 al 21 de enero de 1993 .....42
- Figura 10.- Cambio de la salinidad ( $^{\circ}/_{00}$ ) y anomalía de la superficie libre del agua (m), para: a) estación 9, b) estación 10, c) estación 11, y d) estación 12. Campaña del 18 al 21 de enero de 1993 .....43
- Figura 11.- Cambio de la salinidad ( $^{\circ}/_{00}$ ) y anomalía de la superficie libre del agua (m), para: a) estación 14 y b) estación 15. Campaña del 18 al 21 de enero de 1993 .....44

Figura 12.- a) Profundidad total y b) transparencia (profundidad del Disco de Secchi en metros), por estación de muestreo, en marea alta y marea baja. Campaña del 12 al 13 de marzo de 1993 .....	45
Figura 13.- Magnitud de la velocidad en: superficie, 50 % y 75 % de la profundidad, por estación de muestreo, en: a) marea baja y b) marea alta. Campaña del 12 al 13 de marzo de 1993 .....	46
Figura 14.- Temperatura del agua ( $^{\circ}\text{C}$ ) en: superficie, 50 % y 75 % de la profundidad, por estación de muestreo, en: a) marea baja y b) marea alta. Campaña del 12 al 13 de marzo de 1993 .....	47
Figura 15.- Salinidad ( $^{\circ}/_{00}$ ) en: superficie, 50 % y 75 % de la profundidad, por estación de muestreo, en: a) marea baja y b) marea alta. Campaña del 12 al 13 de marzo de 1993 .....	48
Figura 16.- Oxígeno disuelto ( $\text{mg l}^{-1}$ ) en: superficie, 50 % y 75 % de la profundidad, por estación de muestreo, en: a) marea baja y b) marea alta. Campaña del 12 al 13 de marzo de 1993 .....	49
Figura 17.- Ciclo de 24 horas de: a) nivel de la superficie libre (cm), b) salinidad ( $^{\circ}/_{00}$ ), y temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), en la estación 3 (Laguna de Agua Grande) .....	50
Figura 18.- Diversidad de especies ( $H'n$ ) para el período de muestreo de junio y noviembre de 1979, y enero y mayo de 1980, para el sistema estuarino lagunar Teacapán - Agua Brava.....	52
Figura 19.- Diagrama resultante del análisis de senderos, para el efecto causal de los parámetros ambientales sobre la diversidad ( $H'n$ ), para los muestreos de: (a) junio y (b) noviembre de 1979, del sistema estuarino lagunar Teacapán - Agua Brava.....	57
Figura 20.- Diagrama resultante del análisis de senderos, para el efecto causal de los parámetros ambientales sobre la diversidad ( $H'n$ ), para los muestreo de: (a) enero y (b) mayo de 1980, del sistema estuarino lagunar Teacapán - Agua Brava.....	58
Figura 21.- Diagrama de la distribución de las especies con base en sus hábitos alimenticios para la época de lluvias, período 1978 - 1979, del sistema estuarino lagunar Teacapán - Agua Brava.....	60
Figura 22.- Diagrama de la distribución de las especies con base en sus hábitos alimenticios para la época de secas, período 1978 - 1979, del sistema estuarino lagunar Teacapán - Agua Brava.....	61

## LISTA DE TABLAS

Tabla I.- Calendario de Muestreos Biológicos .....16

Tabla II.- Calendario de Muestreos Físicos .....28

Tabla III.- Equivalencia Entre las Estaciones de los Muestreos Biológicos y Físicos  
.....29

Tabla IV.- Resultados del Análisis de Regresión de los Parámetros Ambientales para el  
Período de Junio de 1979 .....54

Tabla V.- Resultados del Análisis de Regresión de los Parámetros Ambientales para el  
Período de Noviembre de 1979 .....54

Tabla VI.- Resultados del Análisis de Regresión de los Parámetros Ambientales para el  
Período de Enero de 1980 .....55

Tabla VII.- Resultados del Análisis de Regresión de los Parámetros Ambientales para el  
Período de Mayo de 1980 .....55



## RESUMEN

Se presentan los resultados del uso de tres métodos estadísticos para explicar la distribución de las especies de peces dominantes en el sistema estuarino lagunar Teacapán - Agua Brava. Para esto se utilizó información de la literatura y resultados de cuatro muestreos biológicos efectuados en los meses de junio y noviembre de 1979 y de enero y mayo de 1980. Las características hidrodinámicas del sistema se obtuvieron con ayuda de los resultados de dos muestreos efectuados en enero y marzo de 1993 y de información de un modelo numérico hidrodinámico.

Se realizó el análisis de diversidad por estación de muestreo para los meses de junio y noviembre de 1979 y enero y mayo de 1980, por medio del índice de diversidad de Shannon y Weaver. Se presentan resultados de la medición de parámetros ambientales: temperatura del agua, salinidad, oxígeno disuelto, variación de la superficie libre, efectuados en enero y en marzo de 1993. Además se realizó un análisis de los resultados de un modelo hidrodinámico de circulación para conocer las condiciones generales de la dinámica del sistema.

Se uso el análisis de senderos y la regresión lineal múltiple, para explorar el efecto de los parámetros ambientales en la diversidad de especies. Los resultados del muestreo de 1993 y del modelo numérico, ayudaron en el entendimiento de la dinámica del sistema.

Se observó que el muestreo biológico realizado no fue el apropiado ya que el muestreo no fue siempre el mismo en cada estación. Por lo cual se concluye que es necesario adecuar un muestreo diferente al que se efectuó.

Con el Escalamiento Multidimensional se analiza la distancia entre las especies con base en la matriz de similaridad, ésta está formada por dos dimensiones (alimento y especies). El análisis determinó que en la época de secas tiende a existir más aglomeración de las especies por sus hábitos alimenticios con relación a la de lluvias. A pesar de esto las especies dominantes tienden a compartir el nicho, variando su intensidad de una época a otra.

Las condiciones ambientales, como la salinidad y la temperatura, son muy cambiantes de una época a otra, no mostraron un efecto directo sobre la diversidad trófica. Sin embargo, no se puede hablar de preferencias de hábitos alimenticios ya que depende del ambiente y de su disponibilidad, por lo cual los niveles tróficos de los peces no son exclusivos en el sistema lagunar Teacapán - Agua Brava.

# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

Las comunidades ecológicas son altamente complejas. Estas presentan diversas interacciones, como la de depredador-presa. Este fenómeno puede requerir de un análisis complicado que involucre numerosos subcomponentes, tales como: el hambre, la búsqueda, la persecución y la captura, la táctica de huida respecto al depredador, la interferencia entre depredadores, etc. (Hollyng 1966).

Las comunidades pueden ser representadas por medio de una red trófica. Generalmente ésta está compuesta por muchas cadenas alimenticias; el herbívoro se alimenta de la vegetación, el carnívoro persigue al herbívoro y este a su vez, es víctima de algún supercarnívoro. Si un herbívoro necesita cierta extensión para mantenerse, un carnívoro tendrá que cazar sobre un territorio aún más amplio para poder disponer de una reserva suficiente de alimento (Pianka, 1982). Estos principios generales funcionan tanto en ambientes acuáticos como terrestres.

Particularmente las lagunas costeras son ambientes muy dinámicos, donde la interacción de los organismos es compleja, el estudio de las lagunas costeras y estuarios se debe a que son ambientes de gran importancia, desde un punto de vista ecológico, biológico, pesquero y turístico. Estos sistemas presentan diversas características ambientales que influyen en el comportamiento de las poblaciones que la habitan. Muchas de estas especies utilizan estos sistemas como áreas de crianza, alimentación y reproducción, por lo cual éstos son considerados como reservorios para las especies (Yañez-Arancibia, 1986). Estos sistemas estuarino-lagunares, suelen tener diferentes hábitats: zonas oligohalinas, arrecifes ostrícolas de sedimentación, áreas de influencia marina y manglares. En estos sistemas los ríos juegan un papel importante en el aspecto climático, ya que influyen en el funcionamiento del

sistema y en sus interrelaciones con la plataforma. La distribución de los parámetros biológicos es afectada por las condiciones ambientales. Así, la estructura de la trama trófica es afectada por la variabilidad del ambiente físico (Briand, 1983).

Pauly (1975), menciona que el ambiente es el principal factor que controla la composición de la comunidad; por ejemplo, el incremento de la salinidad al término del período de lluvias, da lugar a una sucesión de especies dulceacuícolas por marinas. Así mismo, otros autores mencionan que la salinidad es uno de los factores que tiene mayor influencia en la abundancia relativa de los organismos de estos sistemas.

Autores como D'croz y Aversa (1979), mencionan que la temperatura desempeña un papel poco importante en la abundancia de algunas especies en los sistemas costeros tropicales, dado que su gradiente es menor. Otros autores mencionan que la fluctuación de este parámetro regula la diversidad de los peces, de tal manera que cuando se suele tener temperaturas de 30° C, los peces emigran a aguas más profundas y frías modificando así la abundancia y la diversidad (Adam, 1976).

Por otro lado, algunas especies de sistemas costeros, migratorias y residentes, disminuyen en número como respuestas a los decrementos en la temperatura en otoño e invierno; y vuelve a incrementarse en primavera y verano al incrementarse la temperatura del sistema (Ogren y Brusher, 1977).

La evolución de especies simpátricas conduce a una segregación alimentaria que se manifiesta generalmente en una diferencia de tamaño; en cada taxa hay una especie grande que consume determinado alimento y otra especie pequeña adaptada a usar un alimento de menor dimensión. En una comunidad que esté formada por especies eurípagas, estas pueden cambiar fácilmente de dieta y admiten una mayor fluctuación del medio sin desequilibrarse, a diferencia de las especies estenófagas que aprovechan al máximo el recurso (Margalef, 1978).

La complejidad de las relaciones intra e inter específica es grande, de aquí que se requiera de una constante investigación de la metodología de su investigación, así como en la aplicación de técnicas derivadas para la mejor comprensión de las relaciones de los diferentes organismos de los sistemas costeros. En este trabajo se aplican una serie de técnicas estadísticas para el estudio de la diversidad y de la exploración de los parámetros ambientales en el sistema estuarino lagunar Teacapán - Agua Brava; se hace un análisis de su efectividad, así como del diseño de muestreo.

### 1.1 Antecedentes

El sistema Teacapán - Agua Brava se encuentra entre los límites de los estados de Nayarit y Sinaloa, donde son abundantes las lagunetas, esteros y marismas (Curry, 1969).

El comportamiento de los niveles tróficos entre los sistemas estuarinos es muy similar. En el sistema estuarino lagunar Teacapán - Agua Brava, la alta productividad se debe principalmente al aporte de los manglares. La producción primaria se basa fundamentalmente en el fitoplancton y pantanos de manglar, donde *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* y *Avicennia germinans* son los productores más importantes (Rollet, 1984, Flores-Verdugo 1990).

Los estudios ecológicos efectuados en las lagunas costeras del Pacífico, son amplios. En el sistema Teacapán - Agua Brava, existen trabajos donde se mencionan aspectos ambientales, prospección ecológica, características generales del plancton, geomorfología y estructuras de las comunidades ictiológicas y de moluscos. La Comisión Nacional del Agua (1991) menciona que los principales ríos que drenan sus aguas al sistema son Las Cañas y el Acajoneta, e indirectamente el Baluarte y el San Pedro, todos ellos dentro de la región hidrológica RH11, ocupando la cuenca  $f_{3481}$ . El escurrimiento promedio anual tomado en 11 años, de los ríos antes mencionados, hacia el sistema es de  $687 \times 10^6 \text{ m}^3$  para el río Las

Cañas, de  $1,300.88 \times 10^6 \text{ m}^3$  para el río Acaponeta, de  $1,252.81 \times 10^6 \text{ m}^3$  para el río Baluarte y de  $2,728.37 \times 10^6 \text{ m}^3$  para el río San Pedro. Otros ríos de menor caudal aportan esporádicamente agua dulce al sistema, como son el Rosa Morada y el Bejuco. Las isoyetas medias anuales que cruzan sobre el sistema van de los 1,000 mm en el norte a los 1,200 mm en el sur, mientras que la isoterma media anual en la región es de  $26 \text{ }^\circ\text{C}$ . En su mayoría, la región, es un área de inundación.

Núñez Pasten 1973, efectúa un estudio de la hidrología del sistema Teacapán - Agua Brava. Este autor encuentra que la estratificación térmica se incrementa hacia el interior del sistema, alcanzando valores máximos en el estero y la laguna, y que la temperatura del agua tiene un comportamiento en relación directa con la temperatura del aire. Los valores mínimos de oxígeno, salinidad y transparencia se encontraron a mediados y finales de verano, época de intensos aportes fluviales, estos contienen una gran cantidad de materia orgánica, la cual disminuye la transparencia. Dicha materia orgánica al ser oxidada disminuye considerablemente la cantidad de oxígeno en el agua.

Cepeda (1977) describe las principales características mareográficas de Agua Brava. Sus observaciones muestran que la marea es mixta, presentan asimetría diurna, tanto en los pleamares como en los bajamares, con valores promedios de 10 cm para la pleamar y de 17 cm en la baja mar. La amplitud media reportada para la Boca de Cuautla es de 86 cm, y en el lugar denominado Balsas, esto es a 2,500 m de la Boca de Cuautla, hacia dentro del sistema, la amplitud media observada fue de 33 cm, lo cual indica un amortiguamiento de aproximadamente 68 %. Las velocidades reportadas por este autor fueron de  $0.73 \text{ m s}^{-1}$  en flujo y de  $1.34 \text{ m s}^{-1}$  en reflujos, en el canal de Agua Brava. Este autor observa que el sistema alcanza su nivel del agua mínimo en marzo y su máximo en septiembre, teniendo máximos relativos en julio y agosto.

Amezcuca Linares (1972) realiza estudios sobre los peces del sistema de Agua Brava y presenta una lista sistemática de los principales peces capturados. Alvarez Rubio *et al.* (1986) estudia la ecología y la estructura de las comunidades de peces en Teacapán y Agua

Brava, observando que la estructura ecológica del sistema está fuertemente condicionada por los pulsos estacionales. Estos autores, de analizar 3,985 ejemplares, encuentran 28 familias, 51 géneros y 76 especies y obtienen un índice de  $H^n$  que fluctúa entre 1.3 y 2.8 y que depende del arte de pesca, de la localidad de muestreo, del gradiente ambiental y de la época del año. Por otro lado, encuentran que el intervalo de la biomasa es de 0.12 a 10.0 g m<sup>2</sup>, con mayor dominancia por los consumidores de segundo orden, esto es independiente del arte de pesca usado o de la localidad y época en que se efectuó el muestreo.

Amezcu Linares *et al.* (1986) estudian la dinámica y la estructura de la comunidad de peces de Agua Brava, observando que Agua Brava es un lugar notable por sus manglares y otro tipo de vegetación litoral asociado, lo que repercute en una alta productividad, la cual es aprovechada por una gran cantidad de especies. Los autores encuentran que las características ambientales están definidas por el régimen pluvial, la influencia de las bocas y la descarga de agua dulce de los ríos. Analizan tiempos y patrones de diversidad poblacional, distribución y abundancia de las especies, componentes comunitarios y categorías ictiotróficas, observan fluctuaciones anuales de acuerdo a la dinámica ambiental, la localidad y la selectividad del arte de pesca usado, así como a la disponibilidad del alimento. Sus resultados muestran que el sistema presenta dos regiones ambientales; una al norte, más estable que la del sur, y que comprende de la boca de Teacapán hacia el norte y la parte baja del estero, con características marinas. La otra región se ubica al sur y es mucho más variable y de marcada influencia fluvial. Las especies dominantes son: *Arius liropus*, *Achirus mazatlanus*, *Diapterus peruvianus* y *Centropomus robalitos*; las cuales coexisten durante el ciclo anual en todo el sistema (Amezcu Linares *et al.*, 1986). Por otro lado, Alvares Rubio *et al.* (1990) muestran la existencia de dos períodos marcados por las temporadas de lluvia y dos períodos de transición, lo cual da cuatro períodos “estacionales” al año. Sus resultados muestran una distribución homogénea de la diversidad con un alto valor de traslape del nicho en verano, y lo atribuyen a una interacción competitiva entre los organismos. Así mismo, muestran que en general, la zona norte se caracteriza por una alta diversidad y un mayor traslape de nicho, mientras que en la zona sur, la diversidad y el traslape es menor, y es mayor la amplitud del nicho.

Flores Verdugo *et al.* (1990) estudian la ecología del manglar, la productividad primaria y la dinámica de la comunidad de peces en el sistema Teacapán - Agua Brava, el cual consideran, al igual que Amezcua Linares *et al.* (1986), como el manglar más extenso e importante del Pacífico Mexicano, con tres especies de manglar distribuido heterogéneamente (*Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle* y *Avicenia germinans*). Estos autores observan que la variación en la distribución y abundancia de peces, está fuertemente relacionada con la variación estacional de la caída de las hojas. Reportan 75 especies de peces, distribuidas en dos grupos principales, uno en la temporada de lluvias y otro en la época de secas. El análisis de la diversidad y la biomasa les dieron como resultados la presencia de 18 especies dominantes, la biomasa total estimada fue de 10 g m<sup>-2</sup>. Sin embargo, estos autores mencionan que este parámetro puede fluctuar debido a la fuerte estacionalidad de los aportes de los ríos al sistema, situación que es observada y mencionada por Amezcua Linares *et al.* (1992).

Saucedo Barrón y Ramírez Rodríguez (1994) efectuaron un análisis de peces de importancia comercial en Teacapán, capturados mediante pesca artesanal en 1987 y 1988, encontraron que tres especies representaron más del 9 % de la captura y que estuvieron presentes en más de 12 meses. Doce especies representaron menos del 9 % de la captura y que estuvieron presentes en más de 12 meses. Dieciséis especies representaron menos del 9 % de la captura y estuvieron presentes en menos de 13 meses.

De acuerdo a estudios efectuados en el sistema Teacapán - Agua Brava, el parámetro que más influye en la distribución y abundancia de las especies es la salinidad la cual varía con la época del año. En la época de secas alcanza valores hasta de 41 ‰ en algunos puntos de la laguna y de hasta 32.7 ‰ en el punto denominado Canal del Estero. En la época de lluvias, la salinidad oscila entre 10 ‰ en la Laguna y 27.7 ‰ en la parte baja del Estero. La distribución de la comunidad de peces en este sistema es mayor en el Canal del Estero y menor en la Laguna. Así los peces se distribuyen a lo largo del sistema para evitar la competencia o ser depredados (Alvares-Rubio *et al.*, 1990), motivo por el cual han tenido

un grado de especiación de acuerdo a su ambiente. Así existen peces que dependen del bentos, otros son plantófagos (zooplanctófagos y fitoplanctófagos); dentro de estas categorías los depredadores o carnívoros juegan un papel importante en la regulación de la estructura de la comunidad.

## 1.2 Objetivos

Los principales objetivos planteados en este trabajo son:

- 1.- *Determinar la diversidad de especies por estación de muestreo y período de muestreo para el ciclo 1979 y 1980.*
- 2.- *Evaluar el grado de asociación que existe entre la diversidad de especies y los parámetros ambientales para el ciclo 1979 y 1980.*
- 3.- *Determinar el efecto causal de los parámetros ambientales del sistema, sobre la diversidad de especies, por época de muestreo en el ciclo 1979, 1980.*
- 4.- *Determinar la similitud de peces dominantes del sistema lagunar, por sus hábitos alimenticios, por época climática, para el ciclo 1979 y 1980.*

## 1.3 Hipótesis

La hipótesis que se plantea en este estudio es:

*" La diversidad de especies de peces del Sistema Lagunar Estuarino Tecapán - Agua Brava, para el periodo de 1979 a 1980, no fue afectada por los parámetros ambientales, por lo cual la distribución de la diversidad tenderá a ser similar en todo el sistema. "*



## CAPITULO II

### DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El complejo Estuarino - Lagunar Teacapán Agua - Brava, está localizado al noroeste de la República Mexicana, entre los paralelos 22° 04' y 22° 35' Norte y el meridiano 105° 50' Oeste (Fig. 1). Este sistema se encuentra entre los límites de los estados de Nayarit y Sinaloa. Al norte está limitado por el estero de Mezcal de Agua Grande, Sin. y al sur por las marismas de Canoas y Laguna Pericos (Amezcuca Linares, 1972).

El clima de la región es sub-tropical a tropical de tipo Aw o W según el sistema de Köepen, modificado por García (1973). La temperatura promedio anual es de 25° C, con cambios de precipitación que van de 800 mm al norte de Mazatlán Sin., 1,200 mm en Tepic, Nay. y cerca de 1,660 mm en la planicie de la costa sur, en las proximidades de San Blas, Nay. (Curry *et al.*, 1969).

Los vientos también son un factor importante, puesto que influyen fuertemente en la circulación, grado de depositación de materiales, oxigenación, estratificación, mezcla, aislamiento de masas de agua, turbidez, etc.

El patrón dominante de vientos presenta tres fases durante el año, los procedentes del noroeste en los meses de invierno, los de oeste a sureste en verano, y un régimen de brisas que decrecen en la tarde.

En épocas de secas (invierno-primavera), se tienen valores máximos de evaporación y temperatura, se observan áreas hipersalinas, principalmente en la laguna de Agua Brava y en menor proporción en el estero. Se presentan valores mínimos en la Boca de Teacapán y en la Parte Baja del Estero. En la época de lluvias (parte de verano y otoño), con el aporte de agua continental la salinidad disminuye (Alvarez-Rubio *et al.*, 1986).

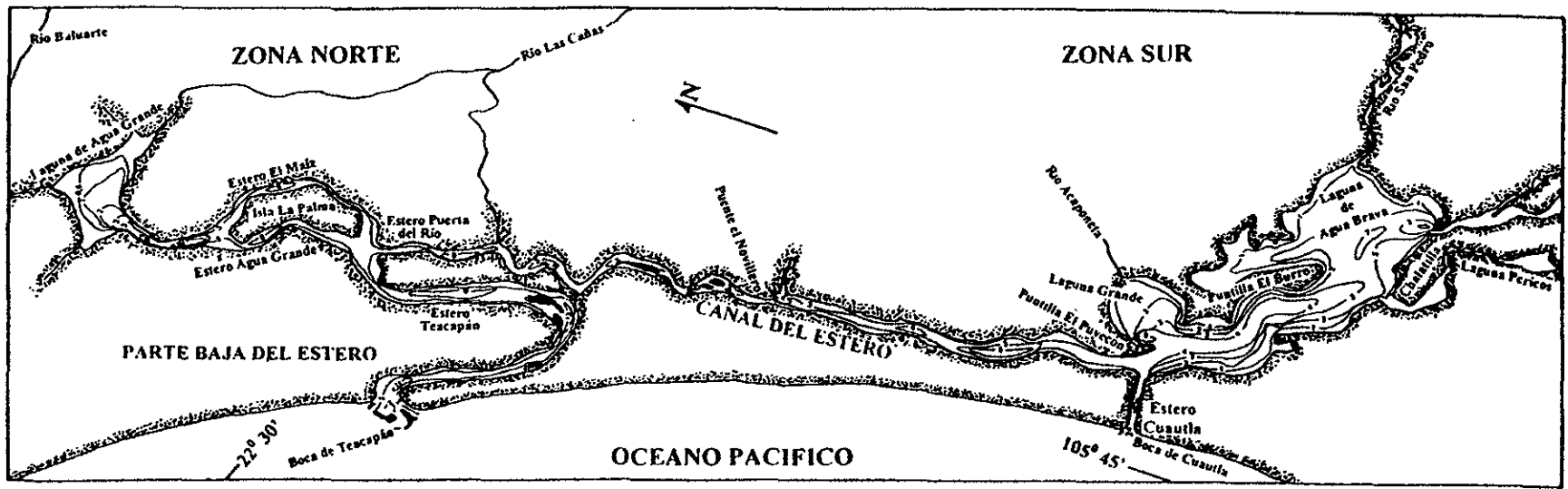


Figura 1.- Ubicación geográfica y batimetría del sistema estuarino lagunar Teacapán - Agua Brava

La temperatura local está en función de la época del año, de la profundidad y de los efectos fluviales y de marea. En la época de secas (invierno-primavera) y verano, se presentan temperaturas altas, mayores en las zonas de menor profundidad, como en el Estero, y bajas en las bocas y áreas cercanas, donde la profundidad es mayor. En otoño se puede observar que en comparación con la época de secas, se tienen valores máximos de temperatura en la Boca de Teacapán y Parte Baja del Estero y menores en el Canal del Estero y la Laguna. En invierno se presentan las temperaturas más bajas del año, en la Boca de Teacapán y parte Baja del Estero, mientras que en el Canal del Estero tienden a incrementarse ligeramente. Los máximos se encuentran en la región denominada la Laguna (Alvares Rubio *et al.*, 1990).

Los principales ríos que descargan en el sistema son el Acajoneta, el Cañas, el San Pedro, el Santiago y el Baluarte. De éstos a excepción del Acajoneta todos son estacionales, aportando grandes cantidades de sedimentos en periodos de lluvias (Alvarez-Rubio *et al.*, 1986).

La época de lluvias se presenta a fines de verano y en otoño; la época de secas en invierno y primavera. Las variaciones ambientales del sistema, están determinadas por los cambios en la época de lluvias (junio a noviembre) y secas (diciembre a mayo). Alvarez-Rubio *et al.* (1986) mencionan con relación a las fluctuaciones del sistema, que en verano la salinidad oscila entre 30 y 35 ‰, y la temperatura entre 29 y 33° C. La temperatura es alta en áreas poco profundas lo que provoca un incremento en la evaporación. En otoño la salinidad disminuye de 0 a 18 ‰, mientras que en la Boca de Teacapán la salinidad se encuentra entre 6 y 18 ‰, con zonas de 0 ‰ en la laguna.

## CAPITULO III

### METODOLOGÍA

Para lograr los objetivos planteados se utilizó información reportada en la literatura, así como resultados de cuatro colectas efectuadas: dos en 1979 y dos en 1980. Las colectas y la mayoría de la información reportada en las publicaciones fue obtenida por personal del Laboratorio de Ictiología. El estudio de la circulación y el muestreo de 1993, fue realizado por personal del Laboratorio de Oceanografía Física, ambos laboratorios pertenecientes al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM.

Los parámetros biológicos y físicos usados en el análisis estadístico son tomados de Alvarez Rubio *et al.* 1986, para una mejor comprensión se describen a continuación las actividades reportadas por dichos autores.

#### 3.1 Muestreos de Parámetros Biológicos

Estos muestreos se realizaron entre los años de 1979 a 1980. En 1979 se muestreo en los meses de junio y noviembre, se efectuaron 19 estaciones. En el año de 1980 los muestreos se realizaron en los meses de enero y mayo. En la Tabla I se muestra el calendario de muestreos y en la figura (2) se presenta la ubicación de las estaciones.

**Tabla I**  
**Calendario de Muestreos Biológicos**

	1979	1980
Enero		Muestreo en período de secas
Mayo		Muestreo en período de secas
Junio	Muestreo en período de lluvias	
Noviembre	Muestreo en período de lluvias	

En los muestreos se efectuaron colectas diurnas y vespertinas, a bordo de una lancha tipo trimarán de 5 m de eslora, con un motor fuera de borda de 40 H.P. Se operaron dos artes de pesca: red de arrastre tipo camaronera con 13 m de longitud, 5 m de amplitud de la boca, 2.5 m de abertura de trabajo y tablas de 0.60 m de largo, con luz de malla de 1/4 de pulgada y Chinchorro de playa con bolsa de 45.2 m de largo por 3.6 m de alto y malla de una pulgada.

### **3.1.1 Estaciones de muestreo**

Las estaciones del muestreo biológico se presentan en la figura (2). Las estaciones 1 y 2 se situaron en la Boca de Teacapán. El ancho de esta Boca es de aproximadamente 100 m y tiene una profundidad entre 3 y 9 m.

En la Parte Baja del Estero se situaron las estaciones 3, 4, 5 y 6, esto frente al embarcadero San Cayetano, el cual esta en la parte más profunda del sistema (12 m).

En el Estero, fueron colocadas las estaciones 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14. Estas estaciones se orientan en forma paralela a la costa, separadas por una barra con bermas arenosas. En promedio se tenía una profundidad de 4 m en dichas estaciones.

La estación 15 se ubicó en la Boca de Cuautla, la que se caracteriza por ser un canal artificial que comunica a la laguna con el mar en la parte sur del estero.

En la Laguna se situaron las estaciones 16, 17, 18, 19 y 20, esta laguna costera, está separada del litoral por una faja corta de terrenos bajos, con orientación diagonal con respecto a la costa, y profundidades promedios de 2.5 m.

### **3.1.2 Actividades realizadas**

En cada estación se tomaron muestras de agua con botella van-Dorn horizontal de 5 litros, se efectuaron mediciones de temperatura, la cual fue determinada con un termómetro de cubeta convencional graduado, con una precisión de  $0.1^{\circ}$  C y escala de 0 a  $50^{\circ}$  C. La salinidad fue determinada con un refractómetro American Optical de lectura directa, escala de 0 a  $50$  ‰. La profundidad y transparencia fueron medidas por medio de disco de Secchi. Las especies se analizaron por época climática y se agruparon por sus hábitos alimenticios.

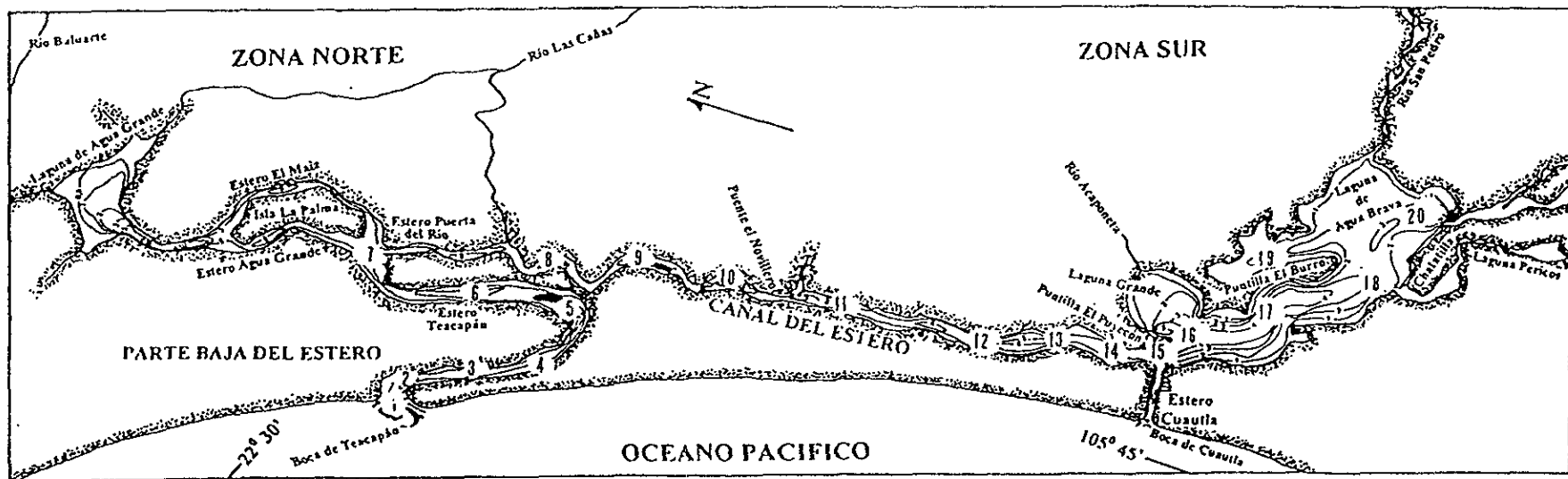


Figura 2.- Distribución de estaciones del muestreo biológico

### 3.1.3 Análisis estadístico

#### 3.1.3.1 Diversidad

Para desarrollar el primer objetivo, se utilizó el índice de Shannon y Weaver, que se expresa como:

$$H' n = -\sum P_i \ln P_i \quad (1)$$

donde:

$$P_i = \frac{n_i}{n} \quad (2)$$

$n_i$  es el número de individuos de la  $i$ -ésima especie y  $n$  es el número total de individuos.

#### 3.1.3.2 Análisis de regresión

Para desarrollar el segundo objetivo, la determinación del grado de asociación de la diversidad de especies y los parámetros ambientales, se utilizó el modelo de Regresión Múltiple, donde la variable de respuesta es la diversidad de cada estación de muestreo, y las variables independientes los parámetros ambientales:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \varepsilon \quad (3)$$

donde:

$X_1$  = Salinidad

$X_2$  = Temperatura

$X_3$  = Profundidad

$X_4$  = Transparencia

$\varepsilon$  = Error



### 3.1.3.3 Análisis de Senderos

Para determinar el efecto de los parámetros ambientales en la diversidad se utilizó el Análisis de Senderos o “Path Analysis” que es una técnica matemática que procede del campo de las ciencias naturales. Su fundador es el biometra Wright S. (1934). El Análisis de Senderos es *“un método de medir la influencia directa en un sistema a lo largo de cada sendero (path) y de hallar de este modo el grado con que la variación de un efecto dado es determinada por cada causa particular. El método depende de la combinación del conocimiento de los grados de correlación entre las variables de un sistema con el conocimiento que pueda tenerse de sus conexiones causales”*. El análisis de senderos permite estimar los parámetros de un modelo causal y son interpretados como indicadores de la cantidad de cambio (estandarizados) en una variable dependiente que es atribuible al cambio (estandarizado) en una variable anterior.

En la mayoría de las ocasiones para determinar la influencia de los parámetros ambientales sobre la diversidad, se utiliza el modelo de regresión múltiple. Cuando el modelo es significativo quiere decir que este tiene un comportamiento lineal y que éste explica a la diversidad en un porcentaje según el valor de  $R^2$ . Para determinar el efecto directo o indirecto de los parámetros sobre la diversidad se utilizó el modelo de análisis de senderos, el cual hasta el momento no a sido aplicado en sistemas acuáticos.

Los supuestos en que se basa el análisis de senderos son las siguientes:

- 1.- *Modelos o sistemas de variables cerrados o completos. En este tipo de modelos, cada variable dependiente debe ser considerada explícitamente como completamente determinada por alguna combinación de variables en el sistema (Duncan, 1975). En los casos en que no se mantiene la determinación completa por las variables medidas, debe introducirse una variable residual no correlacionada con otras variables determinantes del modelo.*

- 2.- *El modelo debe ser recursivo. Un modelo es recursivo cuando las relaciones entre las variables que lo forman son o se suponen que son en todo caso asimétricas. Este tipo de modelo implica que dos variables no pueden ser recíprocamente causa y efecto una de otra. Esta condición viene exigida por la misma idea de causalidad, según la cual el efecto de una causa no puede ser a su vez causa de su causa al mismo tiempo y respecto al mismo aspecto.*
- 3.- *El modelo debe ser lineal. Esto quiere decir que las relaciones que unen las variables que lo forman se deben poder representar por ecuaciones lineales y en el caso de que estas ecuaciones sean de otro tipo, se deben transformar en lineales.*
- 4.- *Relación de causa-efecto entre las variables del modelo. El análisis de senderos es una técnica para el análisis de las estructuras causales, y por tanto exige como condición que todas las variables estén unidas o se suponga que están unidas por relaciones de causalidad.*
- 5.- *Nivel de medida de intervalo o de razón. El análisis de senderos requiere para su empleo que las variables del modelo sean de tipo cuantitativo, continuas, y que sus valores formen por tanto, escalas de intervalos o de razón.*
- 6.- *Las variables residuales, también llamadas errores, que representan ya sean los errores de medición o las variables que pueden influir en el sistema pero no están incluidas en él, se supone que no están correlacionadas entre sí y que ejercen una influencia aleatoria sólo sobre una variable del modelo y no sobre varias.*

Los resultados del análisis de senderos representan gráficamente las relaciones de causalidad que se supone existen en un conjunto de variables.

La posible correlación entre las variables exógenas, por las que se entiende las no dependientes de otras variables del modelo, se suele representar por flechas de doble punta y con línea de unión curva en lugar de rectas. La posible relación entre estas variables no se pretende modelar, aunque si se usa para valorar efectos indirectos de unas variables sobre otras.

Cualquier diagrama de senderos se puede transformar en un conjunto de ecuaciones que recibe el nombre de estructurales y que en su conjunto se suelen llamar modelos de senderos.

En las ecuaciones estructurales del análisis de senderos, los parámetros reciben el nombre de coeficiente de Wright. Como en el análisis de regresión, son estos coeficientes de Wright los que constituyen las incógnitas cuyo valor se halla mediante la resolución del sistema de ecuaciones estructurales del modelo. El análisis de senderos consiste en la determinación de estos coeficientes. La notación de estos coeficientes suele ser  $p_{ij}$ . Los subíndices representan, el primero ( $i$ ) la variable dependiente, y el segundo ( $j$ ) la variable independiente. Estos coeficientes representan la influencia relativa de las diferentes variables sin contaminación de las varianzas, producidas por otras variables y coinciden con los coeficientes  $\beta$  del análisis de regresión y con los coeficientes del análisis de dependencia de Boudon o coeficientes de regresión múltiple en un conjunto de variables estandarizadas a media cero y varianza uno.

En el análisis de senderos como en el análisis de dependencia, la determinación numérica de los parámetros o coeficientes se realiza en función de los coeficientes de correlación  $r_{ij}$ . Por ello es necesario transformar matemáticamente las ecuaciones normales originales, de modo que los coeficientes de las mismas estén expresados en términos de los coeficientes de correlación correspondiente. El fundamento matemático de esta transformación se basa en la igualdad entre la covarianza y su coeficiente de correlación cuando se trata de variables estandarizadas.

En el análisis de senderos se puede obtener los efectos totales directos y los indirectos. El efecto total es la correlación de orden cero entre dos variables; esto indica el efecto conjunto de una variable sobre otra variable dependiente de ella a través de todos los caminos directos e indirectos. El efecto directo es igual al coeficiente de Wright ( $p_{ij}$ ) y el indirecto es la diferencia entre el coeficiente de correlación cero y el coeficiente de Wright.

Se puede resumir el procedimiento para el análisis de senderos en:

- 1.- *Se parte de los datos de la matriz de correlaciones del conjunto de variables estudiadas.*
- 2.- *Se hacen las hipótesis de asociaciones causales que se crean más plausibles teóricamente, según la experiencia que se tenga de las relaciones asimétricas de influencia entre estas variables.*
- 3.- *Se construye el diagrama de senderos correspondiente.*
- 4.- *Se forman las ecuaciones de los coeficientes de correlación en función de éstos y de los coeficientes  $p_{ij}$ , aplicando la fórmula básica del análisis de sendero.*
- 5.- *Se resuelven estas ecuaciones y se obtiene los  $p_{ij}$ .*
- 6.- *Se hallan los coeficientes de los errores.*
- 7.- *Se calculan los efectos indirectos de cada variable según la fórmula general indicada.*

Los resultados de este análisis se resumen en los coeficientes de Wright obtenidos, que se refieren, como se ha visto, no sólo a las variables explícitas del modelo sino también a las implícitas (errores) y a la posibilidad de determinar los efectos directos e indirectos de cada variable independiente de una ecuación sobre las variables dependientes de ella.

En cuanto a los coeficientes de Wright de los errores, su cuadrado representa la variación en la variable dependiente, no explicada por las demás variables de la ecuación que se atribuyen a las variables implícitas o errores. Por lo tanto, la diferencia entre 1.0 y el cuadrado de este coeficiente de Wright expresa el porcentaje de la varianza en la variable dependiente de la ecuación explicada en su conjunto por las variables explícitas de la ecuación en cuestión.

La posible relación causal entre las variables (salinidad, transparencia, temperatura y profundidad) puede ser como a continuación se menciona:

*Salinidad:* tiene una relación con la temperatura, así que a mayor temperatura la salinidad tiende a incrementarse, por efecto de evaporación. De igual manera la salinidad tiene una dependencia de la profundidad total de la estación de muestreo o espesor de la columna de agua, a mayor espesor la salinidad tiende a incrementarse, ya que las regiones más profundas son las que están más próximas al océano. Por efecto de las lluvias a mayor descarga de agua dulce menor salinidad y mayor profundidad.

*Transparencia:* tiene un efecto en forma indirecta sobre la salinidad. En la época de lluvias, la descarga de los ríos es con mayor intensidad y frecuencia, transportan principalmente detritus el cual influye en la transparencia y en la cantidad de oxígeno. Al disminuir la transparencia, disminuye la salinidad y el oxígeno.

*Temperatura:* es afectada por la profundidad, ya que a mayor profundidad la temperatura tiende a descender, ya que el agua de lluvia es por lo general más fría. Se puede suponer una relación con la transparencia debido a que cuando llueve se arrastra material: lodos, ramas, etc. hacia el sistema estuarino lagunar. Cerca de las boca se tiene, también, mayor profundidad y una temperatura más estable ya que es influenciada por el océano.

*Profundidad:* depende de la estación, ya que en la época de lluvias tiende a incrementarse.

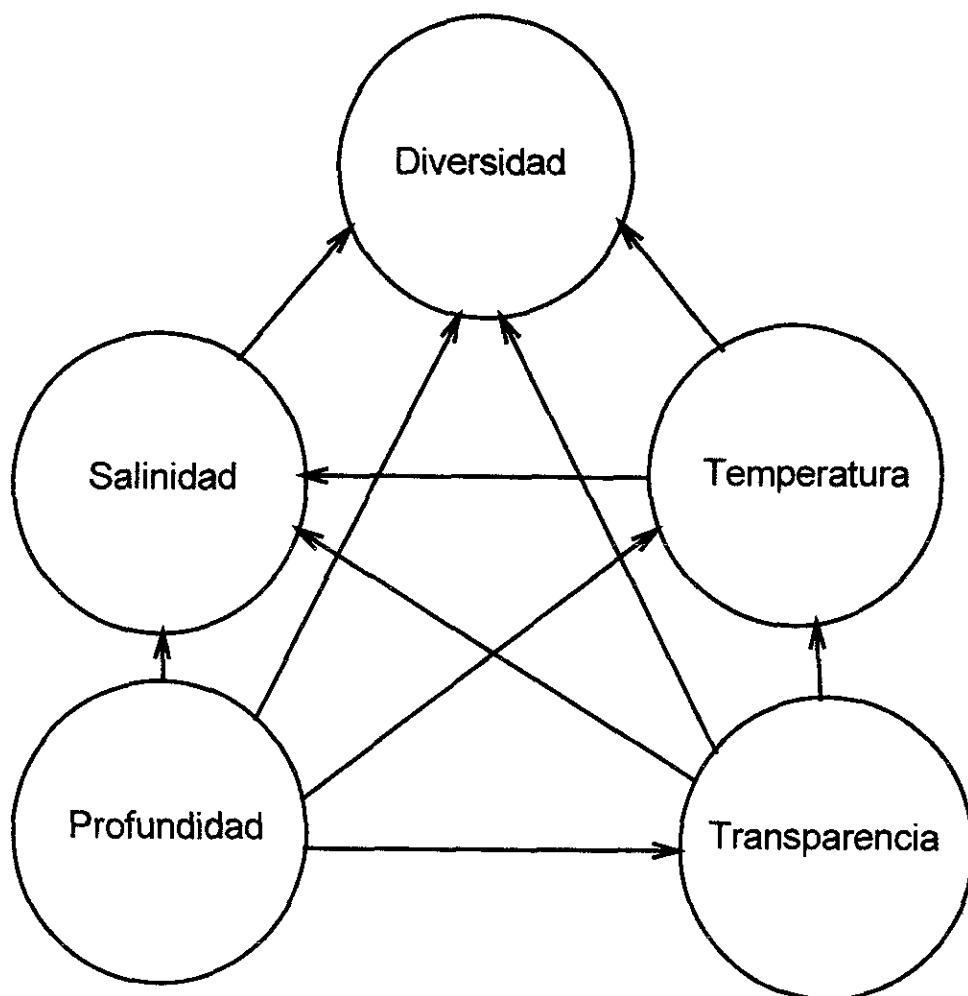


Figura 3. Relación general de las posibles combinaciones causales de los parámetros ambientales sobre la diversidad, para el sistema estuarino lagunar Teacapán - Agua Brava.

### **3.1.3.4 Escalamiento Multidimensional**

Para determinar la similitud de peces dominantes en el sistema lagunar se utilizó la técnica de escalamiento multidimensional (EMD), esta técnica estudia la estructura de los individuos o variables en un espacio multidimensional. Tiene cierta similitud con el análisis factorial. El EMD consiste en una serie de métodos que persigue lo siguiente: construir un espacio métrico con el menor número de dimensiones posibles, que permita representar las proximidades o preferencias entre objetos, con el mayor grado de confiabilidad.

#### **Los supuestos son:**

*Dado un conjunto de  $N$  objetos sobre los que se “perciben” un conjunto de similitudes o disimilitudes, existe un espacio, dotado de una determinada métrica que, para una adecuada dimensión, se encuentra una configuración de  $N$  puntos cuyas distancias corresponden con las similitudes “percibidas”. Una de las ventajas de este método es que permite una visualización gráfica de los resultados (posicionamiento de puntos en un espacio geométrico), lo cual facilita considerablemente su comprensión e interpretación. Para que la interpretación gráfica sea posible hay que reducir toda la información disponible a dos o tres dimensiones (Bisquerra 1989).*

### **3.2 Muestreos de Parámetros Físicos**

Con el objeto de tener un mejor entendimiento de las características ambientales del sistema se presentan resultados de un estudio hidrodinámico.

El grupo de Modelos Numéricos del Laboratorio de Oceanografía Física del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM realizó dos campañas de muestreo en el sistema estuarino lagunar Teacapán - Agua Brava, la primera fue del 18 al 21 de enero y la segunda del 12 al 13 de marzo, ambas en 1993. Esto con el objeto de recabar información para la elaboración de un modelo numérico de circulación del sistema.

En la figura (4) se presenta la localización de las estaciones de este muestreo y en la tabla II las fechas de las mediciones efectuadas

**Tabla II**  
**Calendario de Muestras Físicos**

1993	
Enero (18 -21)	Muestreo en mareas muertas (temperatura, salinidad, profundidad, nivel de la marea, oxígeno disuelto, transparencia, velocidad y descargas de agua dulce al sistema, levantamiento batimétrico).
Marzo (12 -13)	Muestreo en mareas vivas (temperatura, salinidad, profundidad, elevación de la marea, temperatura, oxígeno disuelto, transparencia, velocidad de la corriente y descargas de agua dulce al sistema).

### 3.2.1 Actividades realizadas

La elevación de marea se monitoreo cada 30 minutos durante 24 horas (a excepción del sitio 13) usando una regla y un escandallo de 8 kg marcado cada 5 cm. La salinidad se registró con un refractómetro ATAGO, con graduación de 0 a 100 ‰, en cada estación en intervalos de 4 horas durante las 24 horas. La transparencia se midió usando un disco de Secchi de 24 cm de diámetro, unido a un cabo de nylon de 10 m de longitud al cual se le marcaron divisiones cada 5 cm. La temperatura fue medida con ayuda de un termómetro de mercurio con divisiones que va de -20 a 110 °C. El oxígeno disuelto se determinó usando un oxímetro marca YSI modelo 51B con una graduación de 0 a 15 mg l<sup>-1</sup>, y la velocidad de la corriente fue medida con un molinete de copas con transmisión acústica y escandallo de 8 kg, en las lagunas se usaron, también, cuerpos a la deriva para determinar sus trayectorias y velocidad cada hora.



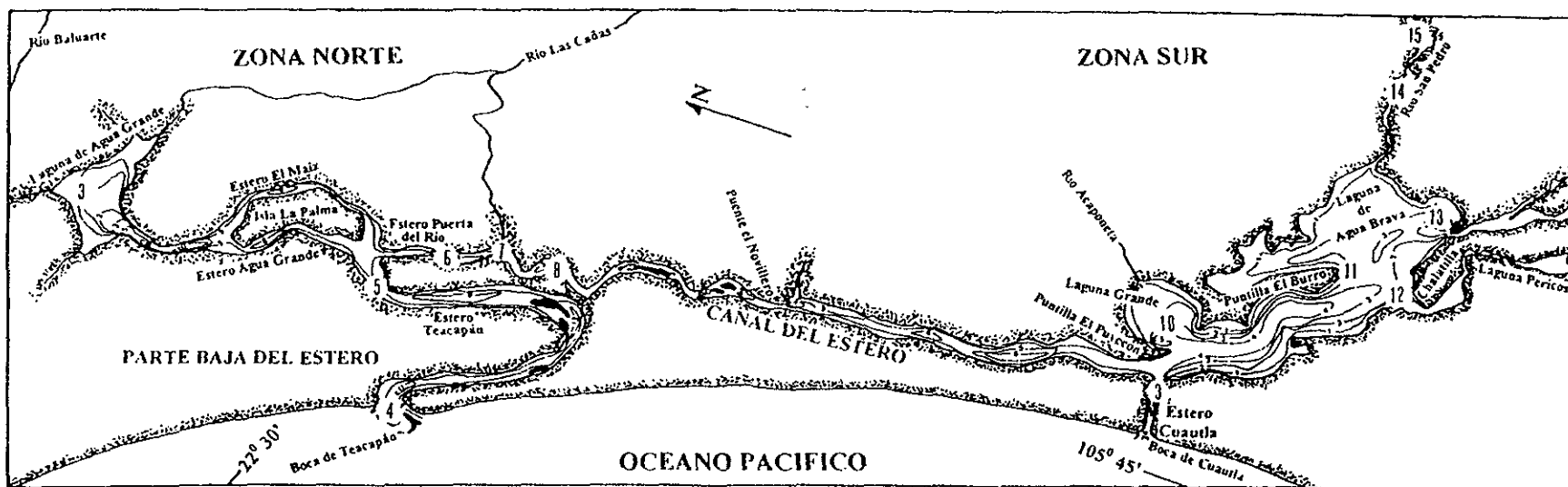


Figura 4.- Distribución de estaciones del muestreo fisico

### 3.3 Equivalencia Geográfica de las Estaciones de Muestreo

Debido a las diferencias que se tienen en la posición y numeración de las estaciones se presenta una tabla de equivalencias (Tabla III). Se decidió dejar la numeración original a cada uno de los muestreos ya que al intentar uniformizar la nomenclatura se presentaban situaciones en las que se tenía que eliminar alguna de las estaciones, para evitar esto se presenta el análisis para cada uno de los resultados y en la discusión se trata a todo el sistema estuarino lagunar en su conjunto.

Tabla III

Equivalencia para las Estaciones de los Muestreos del Sistema Teacapán - Agua Brava

Estación en el Muestreo Biológico Número y Lugar (1979-1980)	Estación en el Muestreo Físico Número y Lugar (1993)
1 Boca de Teacapán	4 Boca de Teacapán
<i>No hay equivalencia</i>	1 Puente Revolución
2 Boca de Teacapán	<i>No hay equivalencia</i>
<i>No hay equivalencia</i>	2 Embarcadero Los Sábalos
3 Parte baja del Estero, frente al embarcadero San Cayetano	<i>No hay equivalencia</i>
<i>No hay equivalencia</i>	3 Laguna de Agua Grande
4 Parte baja del Estero, frente al embarcadero San Cayetano	<i>No hay equivalencia</i>
5 Parte baja del Estero, frente al embarcadero San Cayetano	5 Embarcadero La Brecha, Estero de Teacapán
6 Parte baja del Estero, frente al embarcadero San Cayetano	<i>No hay equivalencia</i>
7 En el Estero	6 Estero Puerta del Río
8 En el Estero	7 Tecoailla
9 En el Estero	8 Puente El Novillero
10 En el Estero	<i>No hay equivalencia</i>
11 En el Estero	<i>No hay equivalencia</i>
12 En el Estero	<i>No hay equivalencia</i>
13 En el Estero	<i>No hay equivalencia</i>
14 En el Estero	<i>No hay equivalencia</i>
<i>No hay equivalencia</i>	14 Tapo el Gavilán
15 En la Boca de Cuautla	9 Boca de Cuautla
<i>No hay equivalencia</i>	15 Embarcadero El Pescadero
16 En la Laguna	10 Puntilla El Puyecón
17 En la Laguna	<i>No hay equivalencia</i>
18 En la Laguna	12 Estero Chalatilla - 1
19 En la Laguna	11 Puntilla El Burro
20 En la Laguna	13 Estero Chalatilla - 2

## CAPITULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1 Características Hidrodinámicas

##### 4.1 Características Hidrodinámicas y Resultados de los Muestreos Físicos en el Sistema Estuarino Lagunar Teacapán - Agua Brava

El estudio hidrodinámico de este sistema lagunar, incluye la modelación de la circulación en el sistema lagunar desarrollado Monreal Gómez, Salas de León y Alvares Rubio (CNA, 1993)

Se realizan dos campañas midiendo: salinidad (‰), temperatura (°C), oxígeno disuelto (%), transparencia (profundidad del disco de Secchi), elevación de la marea (m) y velocidad de la corriente a tres niveles (superficie, 50 y 75 % de la profundidad total), en 13 estaciones, la figura (4) muestra las estaciones del estudio hidrodinámico. Así mismo, se efectuaron 91 transectos y 139 estaciones corregidas a bajar media inferior para obtener la batimetría del sistema, la cual se muestra en la figura (1).

Se efectuaron mediciones de los aportes de los ríos para usarlos como condiciones de frontera. Las mediciones de los gastos de los principales ríos les dieron como resultados que el aporte del río Las Cañas fue nulo, con cuerpos a la deriva verifico que no obstante que el cause tenia agua, no presentaba movimiento alguno. El río Acaponeta presento un aporte de  $2.69 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , el aforo fue practicado con molinete en un punto del río cercano al poblado denominado Quimichin, Nay. y con el método de cuerpos a la deriva obtuvieron un gasto muy parecido ( $2.88 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ), también se reportan los valores de los aforos efectuados los días 8, 9 y 10 de marzo de 1993, por la CNA para este río, los cuales fueron 2.92, 2.81 y  $2.71 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , respectivamente, En el caso del río San Francisco el aforo dio  $0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , con un cauce seco. El río Rosa Morada presentó descarga de  $0.03 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  y el Bejuco  $0.10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

Los resultados de las mediciones de campo muestran que, durante las campañas de enero y marzo de 1993, la distribución vertical de los diferentes parámetros fue muy homogénea, observándose diferencias solo en la horizontal; esto indica una alta barotropicidad del sistema, no obstante el aporte de agua de los ríos.

Durante la campaña de enero se observa que el oxígeno tiene valores máximos en las estaciones 2 y 3 (Embarcadero los Sábalos y Laguna de Agua Grande); y están por arriba de los  $6 \text{ mg l}^{-1}$  (Fig. 5a), los valores mínimos se encontraron en la estación 1 (Puente Revolución). La salinidad presenta una disminución cuasi hiperbólica de la estación 2 a la estación 15. Sus valores máximos están por arriba de los  $40 \text{ ‰}$  (Fig. 5b) y el mínimo en la estación 14 (Tapo el Gavilán). La profundidad del disco de Secchi (Transparencia) se encuentra por abajo de 1 m, y disminuye, en general, de la estación 1 a la 15 (Fig. 6a). Se puede observar un mínimo relativo en la estación 3 (Laguna de Agua Grande). La temperatura presenta diferencias mayores entre una estación y otra en un intervalo que va de los  $25$  a los  $28 \text{ °C}$ . Los valores máximos se observaron en las estaciones 2 y 3 (Embarcadero los Sábalos y Laguna de Agua Grande) (Fig. 6b); mientras que los mínimos se encontraron en las estaciones 1, 4, 5, 8 y 14 (Puente Revolución, Boca de Teacapán, Embarcadero la Brecha, Puente El Novillero y Tapo el Gavilán).

La magnitud de la velocidad presenta sus máximos, por arriba de los  $0.6 \text{ m s}^{-1}$ , en las estaciones 9 y 10 (Boca de Cuautla y Puntilla El Puyecón), (Fig. 7), y sus mínimos en las estaciones 1, 2, 6 y 15 (Puente Revolución, Embarcadero los Sábalos, Estero Puerta del Río y Embarcadero El Pescadero).

La variación del nivel del agua (efecto de la marea) es insignificante en las estaciones 1 y 2 y se deja sentir a partir de la estación 3 en adelante, para volver a dejar de ser importante en la estación 15 (Fig. 8 a 11). Las variaciones mayores se presentan en la Boca de Teacapán, Boca de Cuautla, Puente el Novillero y Estero Puerta del Río (estaciones 4, 6, 8 y 9). Se puede observar que el desfase máximo de la onda de marea, produce un retardo de dos horas y media.

Los resultados de la campaña de marzo de 1993 muestra una fuerte homogeneidad vertical, en este caso como se trataba de marea viva se muestreo en marea alta y marea baja. La variación de la profundidad muestra sus mayores diferencias entre marea alta y marea baja en las estaciones 5 a la 14 (Fig. 12a). Se puede ver que en las estaciones 3 y 5 (Laguna de Agua Grande y Embarcadero La Brecha) no se registró diferencia en la profundidad entre marea alta y marea baja. Las mayores diferencias entre marea alta y marea baja en la transparencia se encontraron en las estaciones 4, 7, 8, 9, 11 y 15 (Fig. 12b), observándose en la estación 12 una mayor transparencia en marea baja que en marea alta.

La magnitud de la velocidad de la corriente en marea baja presenta un ligero aumento de la estación 1 a la 15; en algunos casos se puede ver que la velocidad en la superficie es menor que a 50 o 75 % de la profundidad (Fig. 13a). En marea alta la velocidad es significativamente mayor en casi todas las estaciones, observándose un incremento en las estaciones 11 a la 13 (Fig.13b).

La temperatura en marea baja presentó variaciones fuertes de una estación a otra (Fig. 14a). En las estaciones 1 a la 3, y 6 y 12 se puede observar una estructura vertical uniforme. En la estación 4 la temperatura a 50 % de la profundidad es mayor que en la superficie. En la estación 9 la temperatura en el fondo fue mayor que la de la superficie y a 50 % de la profundidad. En marea alta la temperatura superficial es menor que en el resto de la columna en las estaciones 2, 11 y 12 (Fig. 14b). En el caso de la salinidad las diferencias en la vertical son muy pequeñas; observándose el efecto de la descarga de agua dulce en las estaciones 12 y 13 en marea baja (Fig. 15a). Es de hacer notar que la salinidad superficial es menor en casi todas las estaciones en marea alta (Fig. 15b).

Las mayores cantidades de oxígeno se encuentran todo el tiempo en la superficie, tanto en marea baja como en marea alta (Fig. 16a y 16b). En marea alta se presentan dos estaciones de marcado mínimo de oxígeno, estas son la estación 6 y 10 (Estero Puerta del Río y Puntilla El Puyecón). En marea baja las estaciones de menor oxígeno son la 1 y la 14 (Puente Revolución y Tapo El Gavilán).

En la estación 3 (Laguna de Agua Grande) se efectuó un ciclo de 24 horas. Se midió la variación del nivel del agua, salinidad y temperatura. La variación del nivel del agua (Fig. 17a) muestra una parte de la marea mixta del sistema y de la asimetría. La salinidad presenta valores mayores a los 50 y 75 % de profundidad que los de la superficie (Fig. 17b); en tanto que la temperatura presenta muy pequeñas diferencias en la columna de agua mostrando una disminución conforme la marea baja (Fig. 17c).

Se aplicó un modelo numérico hidrodinámico barotrópico, en el cual se consideraron varias situaciones, en primer lugar se simuló el caso de marea viva para cada cuarto de ciclo de marea, en el segundo caso se procedió de la misma forma pero en condiciones de marea muerta. Posteriormente se consideró sólo el campo de vientos característicos como forzamiento de la circulación, también se incluyó la descarga del río Acaponeta en condiciones de gasto medio, marea media y viento característico, cambiando el gasto a máximo medio, y con el gasto mínimo medio, este último corresponde también al caso en que se tiene época de seca, en tanto que el caso con descarga máxima corresponde al de época de lluvias.

Los resultados de la simulación a inicio de ciclo para marea viva muestran que debido a que existe un desfase de  $265^{\circ}$  la marea no impulsa agua hacia el interior del sistema lagunar. La onda de marea en la Boca de Teacapán y en la Boca de Cuautla se encuentra en fase, esto es una característica que mantiene la onda de marea en casi toda la costa del pacífico mexicano, llegar en forma paralela a la costa. Debido a esto es que se tiene una salida de agua en las dos bocas. Para este caso la circulación en el Estero de Cuautla es hacia el norte o ascendente. En el Estero el Maíz, Estero Agua Grande y en el Estero de Teacapán la circulación es en dirección de Laguna Grande, en tanto que en el Estero Puerta del Río la circulación es hacia el sur o en dirección de Boca de Teacapán. Las corrientes son pequeñas en general y no llegan a los  $20 \text{ cm s}^{-1}$  en las lagunas, las de mayor intensidad se localizan en la Boca de Teacapán con magnitudes del orden de  $30 \text{ cm s}^{-1}$ .

Los resultados de la simulación a un cuarto del ciclo en marea viva, presentan una salida de agua con una fuerte intensidad. La circulación en los canales o Esteros es toda hacia las bocas al igual que en las lagunas. En el Estero de Cuautla las corrientes son en su gran mayoría, en dirección de la Boca de Cuautla. A la altura de San Cayetano se presenta la división de corriente unas hacia la boca de Teacapán y otras hacia la Boca de Cuautla. Las corrientes en este caso llegan a alcanzar velocidades hasta de  $1 \text{ m s}^{-1}$  en las bocas, en tanto que en las lagunas son del orden de  $20 \text{ cm s}^{-1}$  en Agua Brava y de  $5 \text{ cm s}^{-1}$  en Agua Grande.

A un medio de ciclo en marea viva, el defase de 265 grados coincidiría prácticamente con el inicio de ciclo en grados del meridiano cero, encontrándose que el agua entra por ambas bocas teniendo magnitudes entre  $40$  y  $50 \text{ cm s}^{-1}$ . En el estero de Cuautla se presenta una circulación que va de la Boca de Cuautla hacia el norte, en tanto que a partir del Estero Puerta del Río la circulación es hacia el sur, con un punto de prácticamente cero velocidad a la altura del puente de Novillero. En los Esteros del Maíz y de Agua Grande las corrientes fluyen hacia el sur, al igual que en el estero de Teacapán.

Los resultados de la simulación a tres cuartos de ciclo en marea viva, muestran el máximo de corrientes calculadas con el modelo, las cuales son hacia el interior del sistema lagunar, la laguna de Agua Brava se ve afectada por este intenso flujo, en tanto que la laguna de Agua Grande mantiene un patrón de circulación de poca intensidad. En prácticamente todos los esterios la dirección del agua hacia el norte es ascendente; en el estero de Cuautla las corrientes se encuentran un poco más al norte del puente el Novillero generando una zona de nulo movimiento.

Los resultados de la simulación a inicio del ciclo en marea muerta son muy similares a los obtenidos en marea viva, mostrándose tan solo una diferencia en la magnitud de las corrientes. En este caso el agua sale por ambas bocas debido al defase en la onda de marea por efecto de la hora local. Se observa que el agua en el Estero de Agua Grande, Estero del Maíz y el Estero de Teacapán (no así en el Estero Puerta del Río), circula hacia el sur, en

dirección de la boca de Teacapán.

Los resultados de la simulación a un cuarto de ciclo en marea muerta, son casi igual que en marea viva, muestran la mayor intensidad en las corrientes para esta serie de eventos, con un marcado refluo en ambas bocas, la circulación en los esteros es preponderantemente hacia el sur.

En el caso de la simulación a medio ciclo de marea en marea muerta, los resultados muestran que las corrientes son de flujo en ambas bocas: En la laguna de Agua Brava, el patrón de circulación es dominado por las características de la onda de marea en la boca de Cuautla, en tanto que en la laguna de Agua Grande la dirección de la circulación es hacia el sur, esto es hacia la boca de Teacapán lo cual condiciona la circulación en los esteros de Agua Grande, el Maíz y Teacapán, no así en el Estero de Puerta del Río.

Los resultados de la simulación a tres cuartos de ciclo de marea en condición de marea muerta, muestran una dirección de las corrientes hacia el interior del sistema lagunar lo cual determina el patrón de corrientes en casi todas las lagunas; es de hacer notar que el Estero Puerta de Río mantiene al igual que en otros casos, una circulación defasada con respecto a los otros esteros, esto es atribuible a la existencia de las islas que separan el estero de Teacapán y al borde formado por la isla de la Palma, la cual induce un patrón de circulación hacia el sur del sistema lagunar.

El resultado de efectuar la simulación de la circulación inducida con marea media, viento predominante y gasto medio del río Acajoneta a fin de ciclo de marea, usando el valor medio de gasto del río Acajoneta como constante, muestran que cuando se tienen estas condiciones, la circulación es denominada por el aporte de agua del río, llegándose a sentir los efectos de la descarga hasta la laguna de Agua Grande. Las velocidades obtenidas son del orden de  $25 \text{ cm s}^{-1}$  en la parte norte del sistema.



Cuando se impone un valor de gasto obtenido mediante el promedio de los valores máximos más vientos característicos, el patrón de circulación en el sistema lagunar es totalmente condicionado por la descarga del río inundando las lagunas y los esteros. Debe mencionarse que el valor del gasto medio máximo usado es del orden de  $100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , el cual no se ha repetido desde 1982, por tanto este resultado es excepcional y representa condiciones imperantes antes de la construcción del sistema de riego contiguo, el cual es operante desde hace ya tiempo atrás.

Los resultados de la simulación de la circulación inducida con marea media, viento predominante y gasto mínimo medio a fin de ciclo de marea, son muy similares a los obtenidos de la simulación a inicio de ciclo en marea muerta.

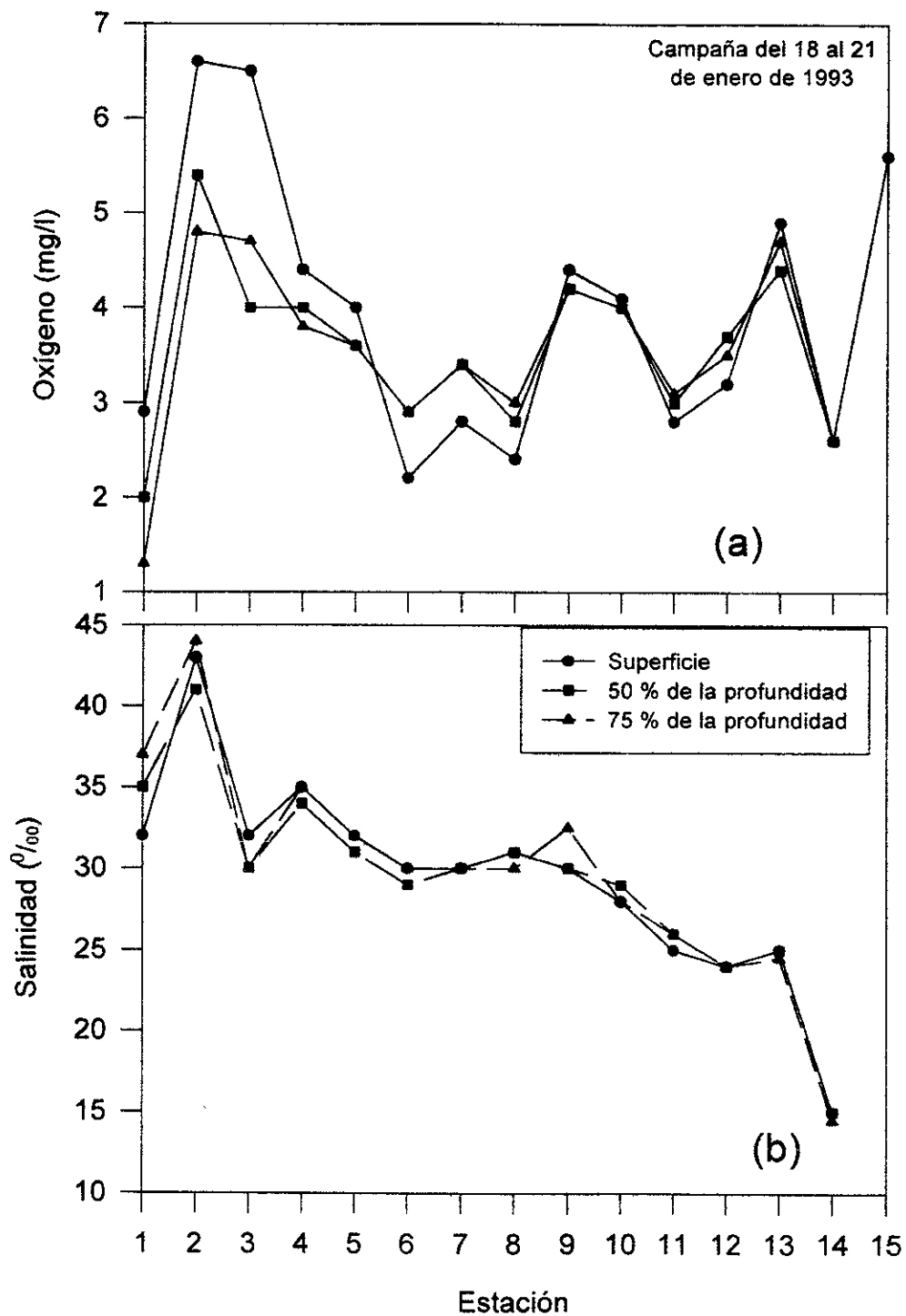


Figura 5.- Distribución de: a) oxígeno ( $\text{mg l}^{-1}$ ) y b) salinidad ( $\text{‰}$ ), en las estaciones de muestreo. Campaña del 18 al 21 de enero de 1993.

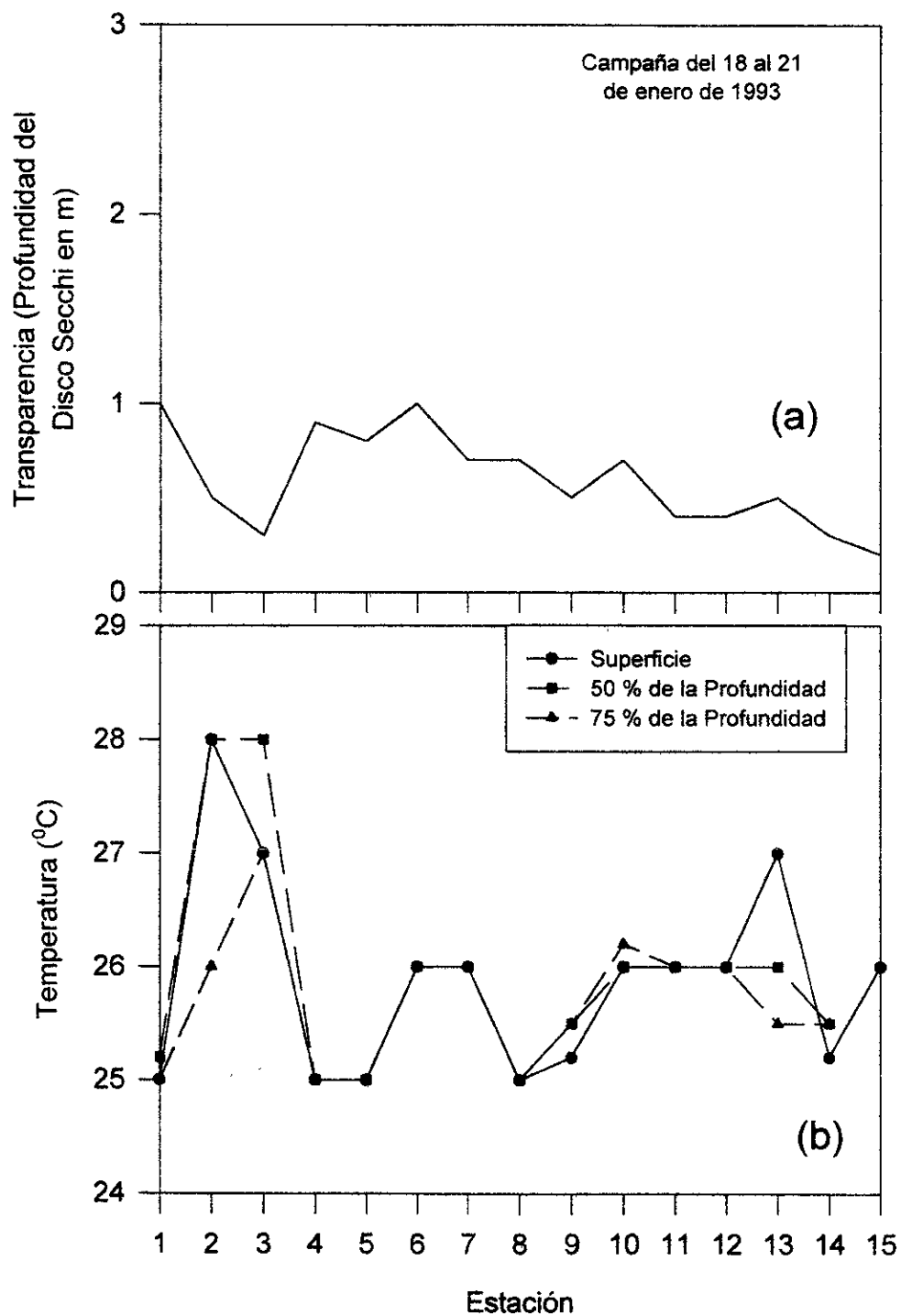


Figura 6.- Distribución de: a) transparencia (profundidad del Disco de Secchi en metros) y b) temperatura (°C), en las estaciones de muestreo. Campaña del 18 al 21 de enero de 1993.

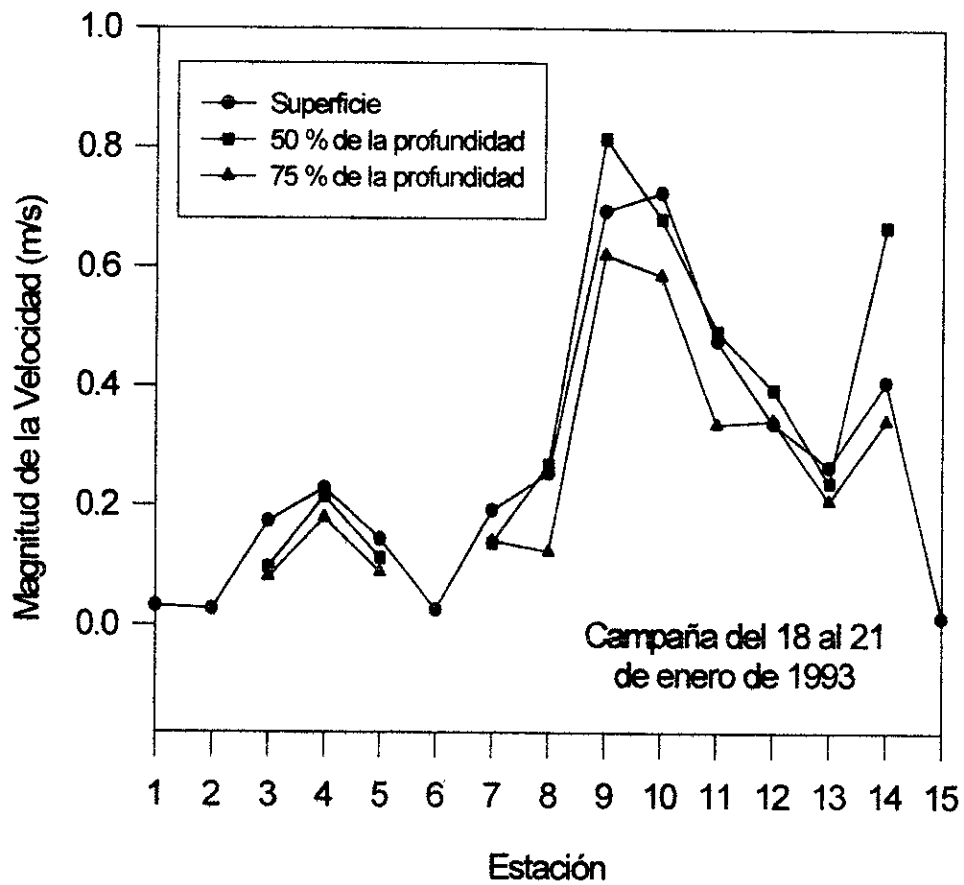


Figura 7.- Distribución de la magnitud de la velocidad ( $\text{m s}^{-1}$ ) en las estaciones de muestreo, en: superficie, 50 % y 75 % de la profundidad. Campaña del 18 al 21 de enero de 1993.

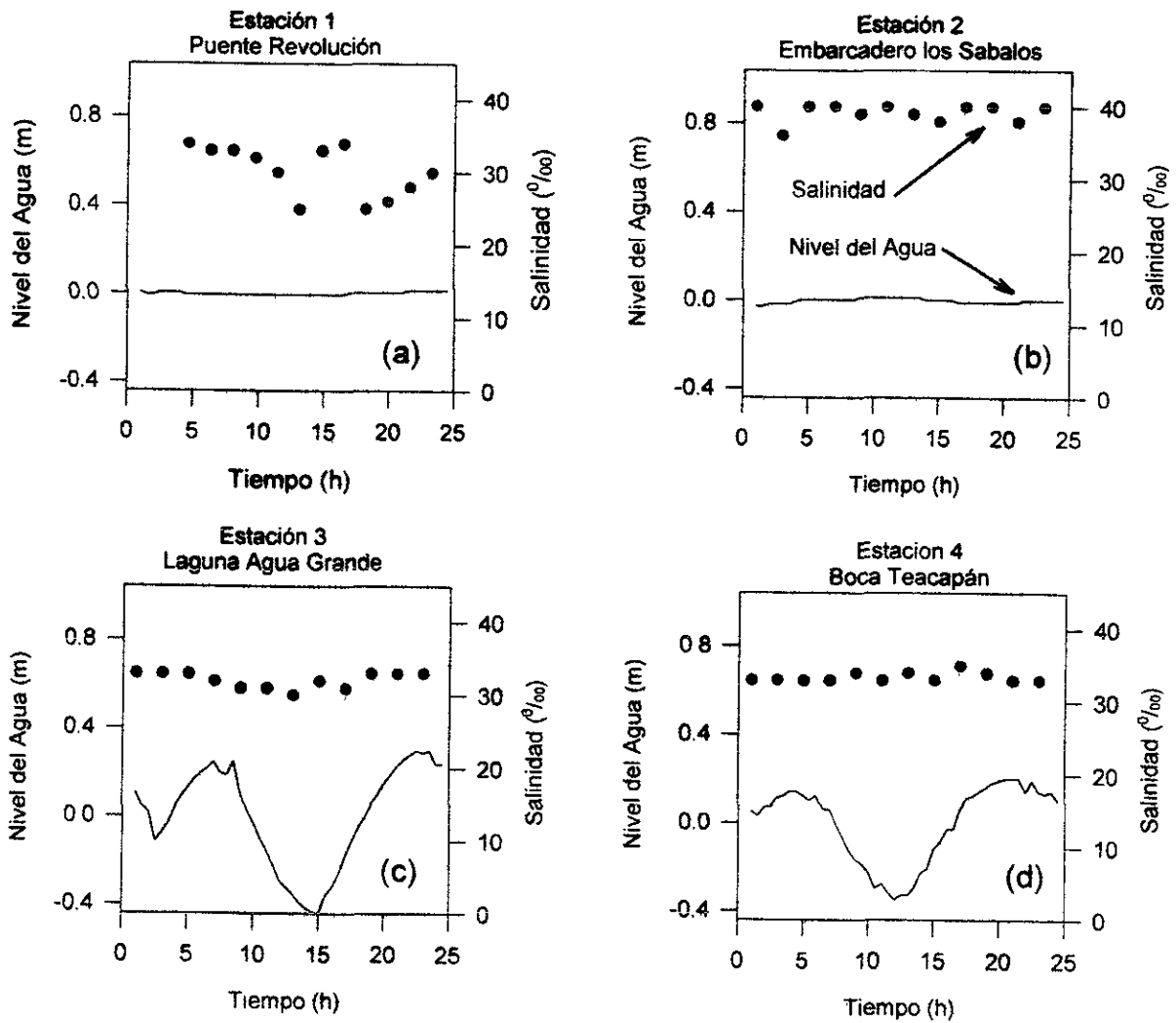


Figura 8.- Cambio de la salinidad ( $^{\circ}/_{\infty}$ ) y anomalía de la superficie libre del agua (m), para: a) estación 1, b) estación 2, c) estación 3, y d) estación 4. Campaña del 18 al 21 de enero de 1993.

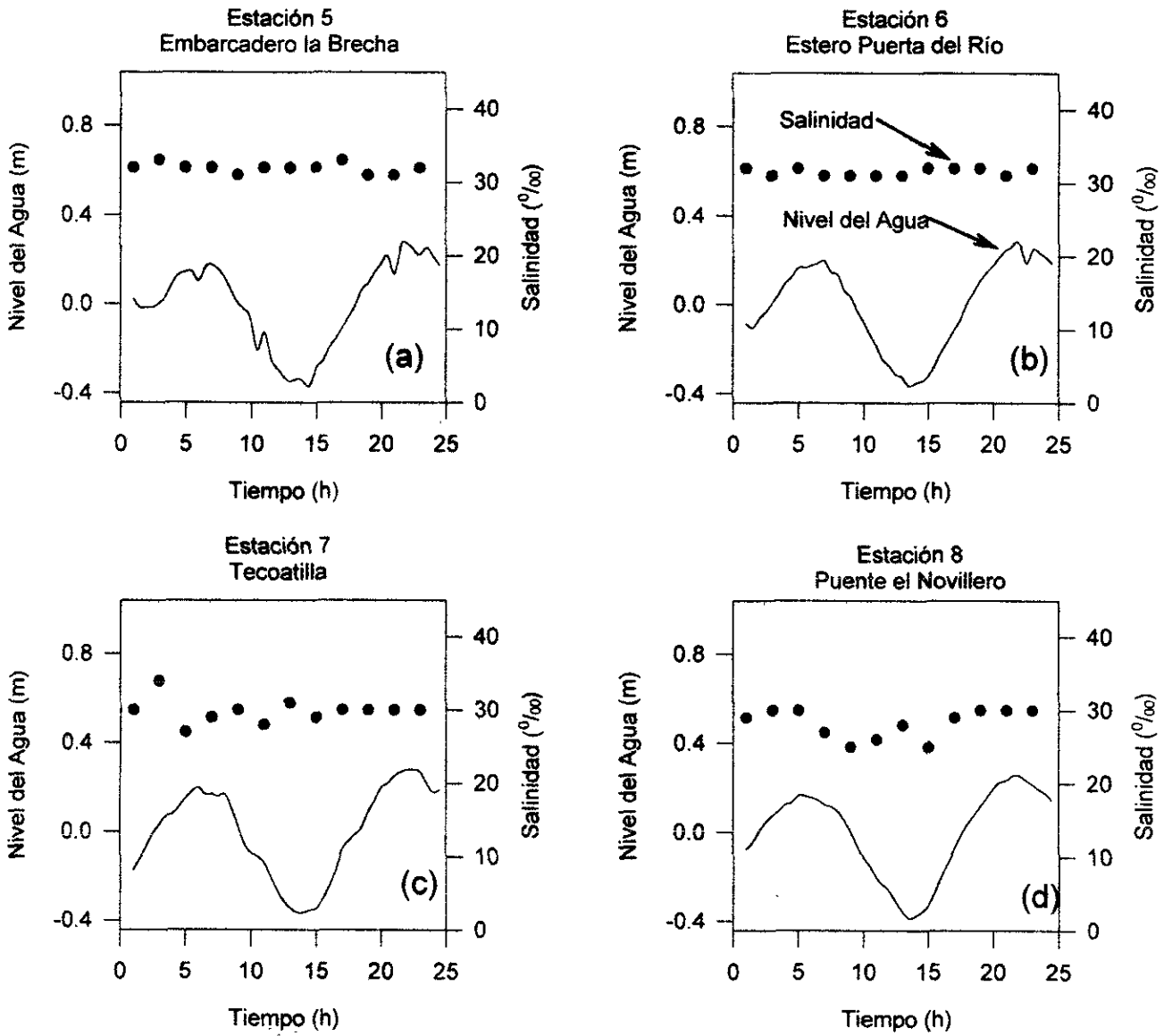


Figura 9.- Cambio de la salinidad (‰) y anomalía de la superficie libre del agua (m), para: a) estación 5, b) estación 6, c) estación 7, y d) estación 8. Campaña del 18 al 21 de enero de 1993.

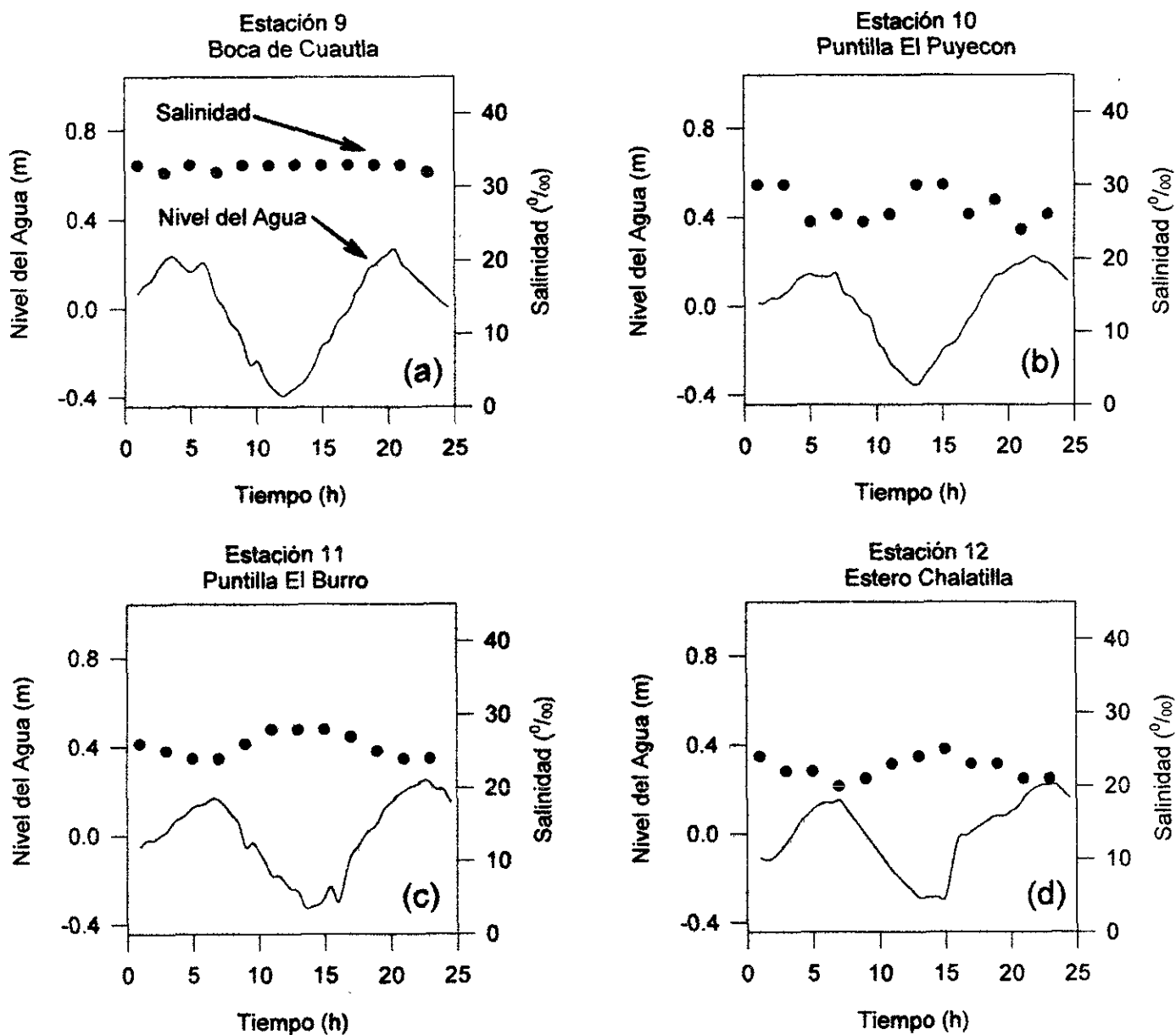


Figura 10.- Cambio de la salinidad (‰) y anomalía de la superficie libre del agua (m), para: a) estación 9, b) estación 10, c) estación 11, y d) estación 12. Campaña del 18 al 21 de enero de 1993.

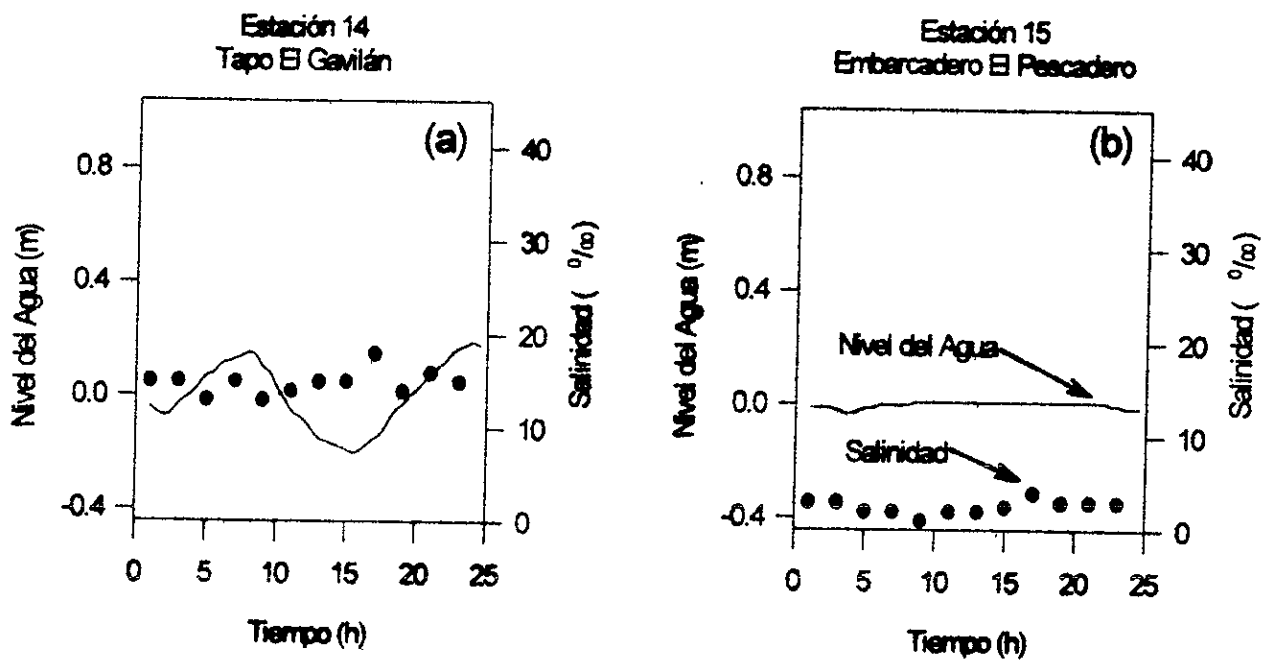


Figura 11.- Cambio de la salinidad (‰) y anomalía de la superficie libre del agua (m), para: a) estación 14, b) estación 15. Campaña del 18 al 21 de enero de 1993.



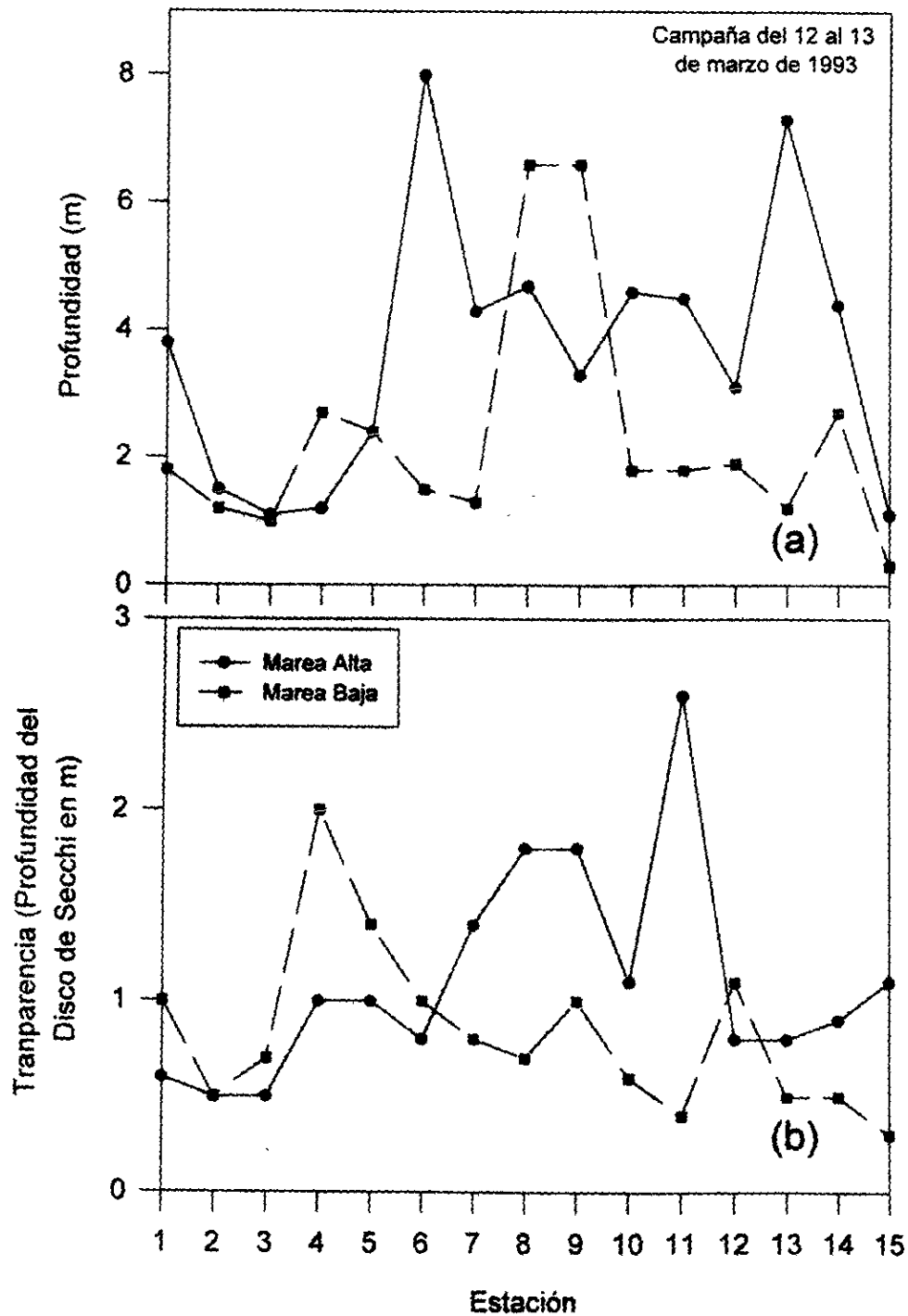


Figura 12.- a) Profundidad total y b) transparencia (profundidad del Disco de Secchi en metros), por estación de muestreo, en marea alta y marea baja. Campaña del 12 al 13 de marzo de 1993.

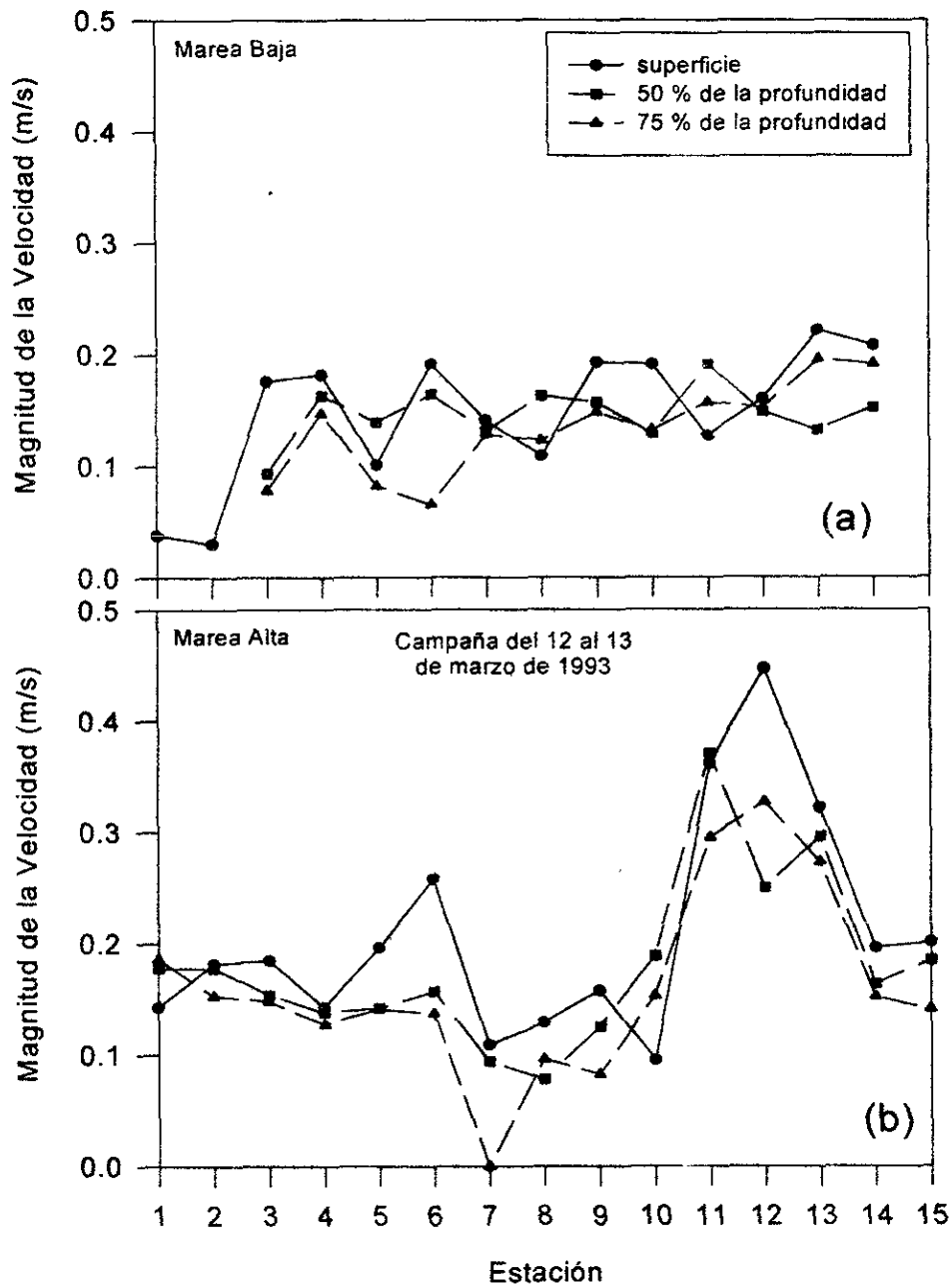


Figura 13.- Magnitud de la velocidad en: superficie, 50 % y 75 % de la profundidad, por estación de muestreo, en: a) marea baja y b) marea alta. Campaña del 12 al 13 de marzo de 1993.

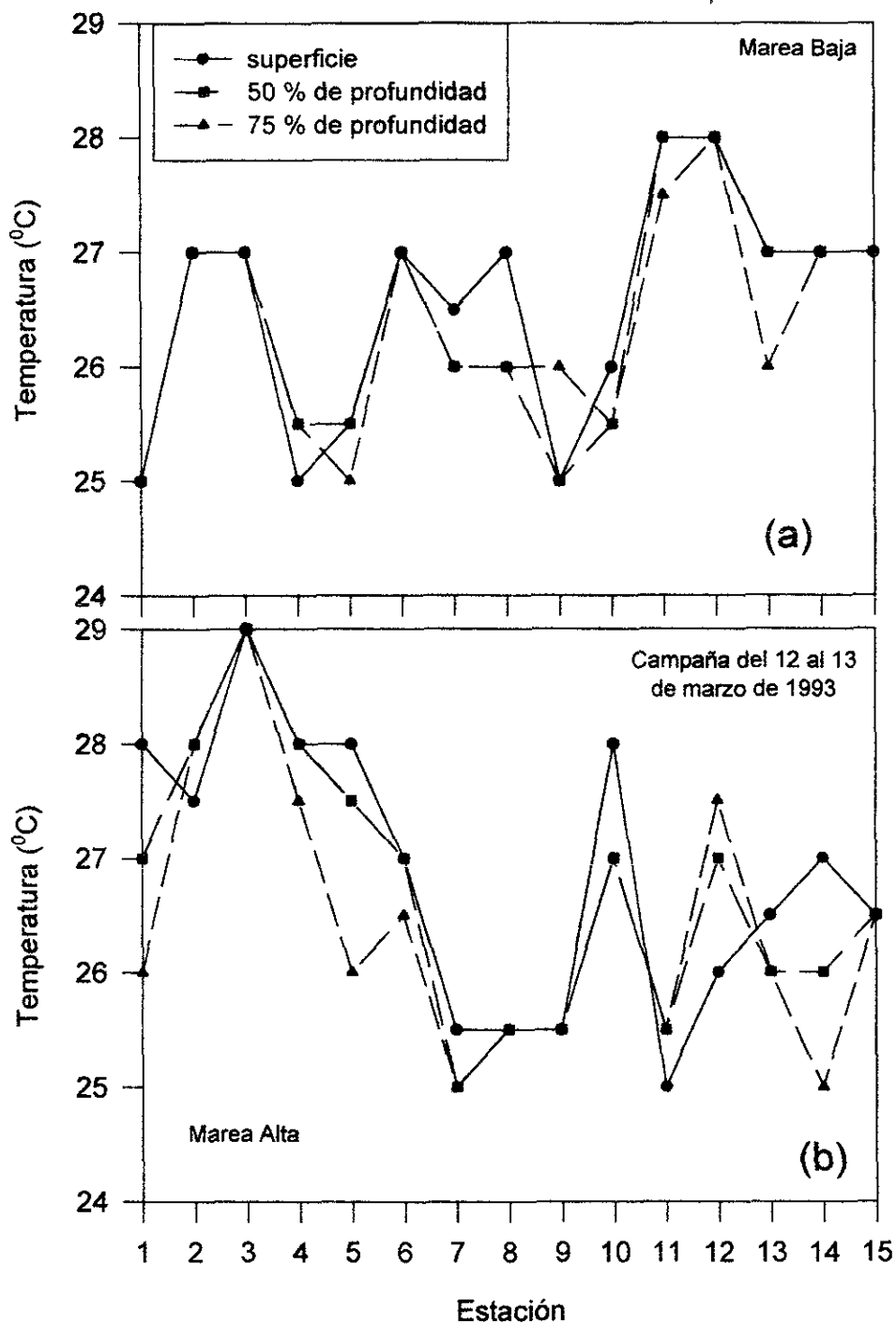


Figura 14.- Temperatura del agua (°C) en: superficie, 50 % y 75 % de la profundidad, por estación de muestreo, en: a) marea baja y b) marea alta. Campaña del 12 al 13 de marzo de 1993.

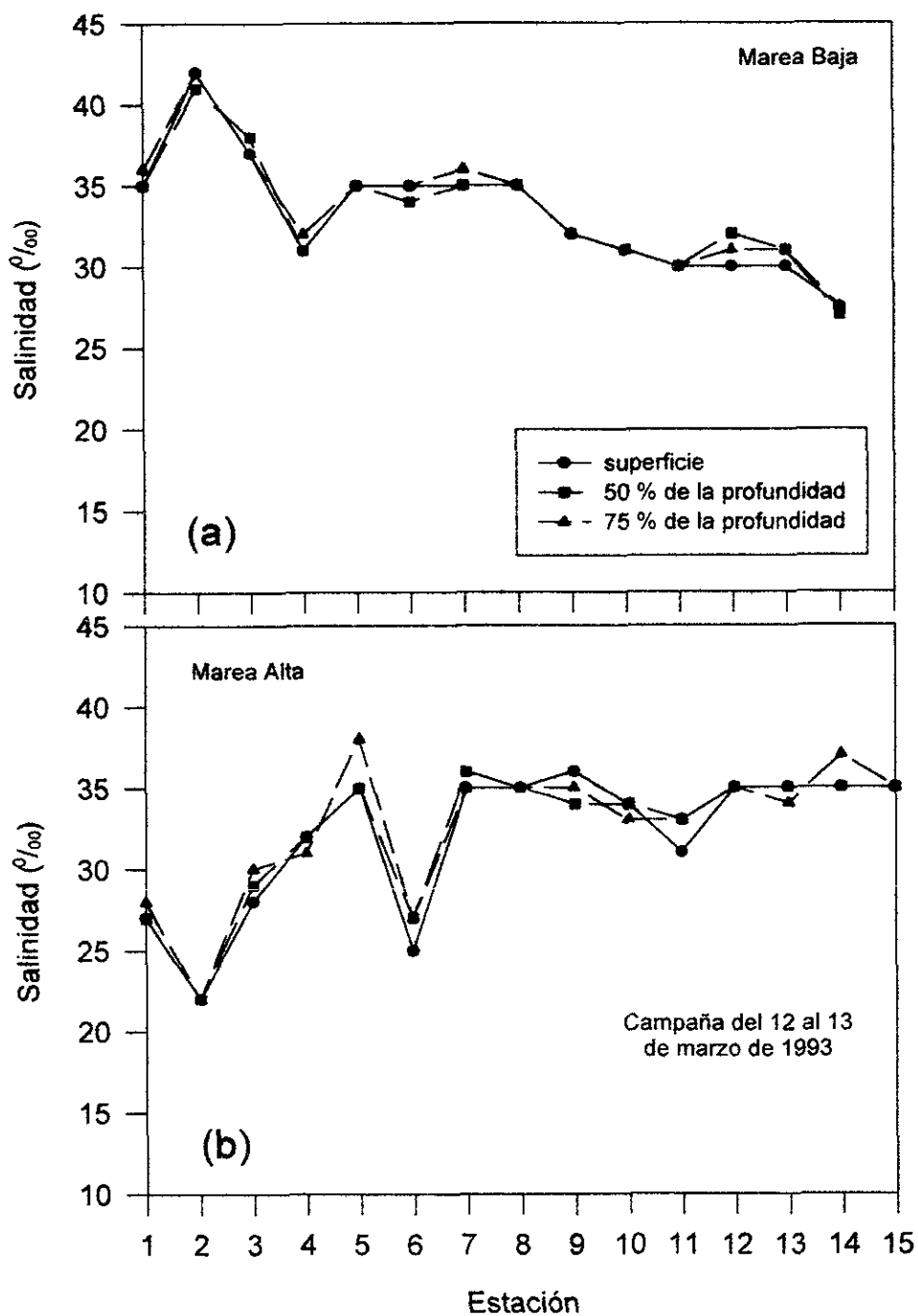


Figura 15.- Salinidad (‰) en: superficie, 50 % y 75 % de la profundidad, por estación de muestreo, en: a) marea baja y b) marea alta. Campaña del 12 al 13 de marzo de 1993.

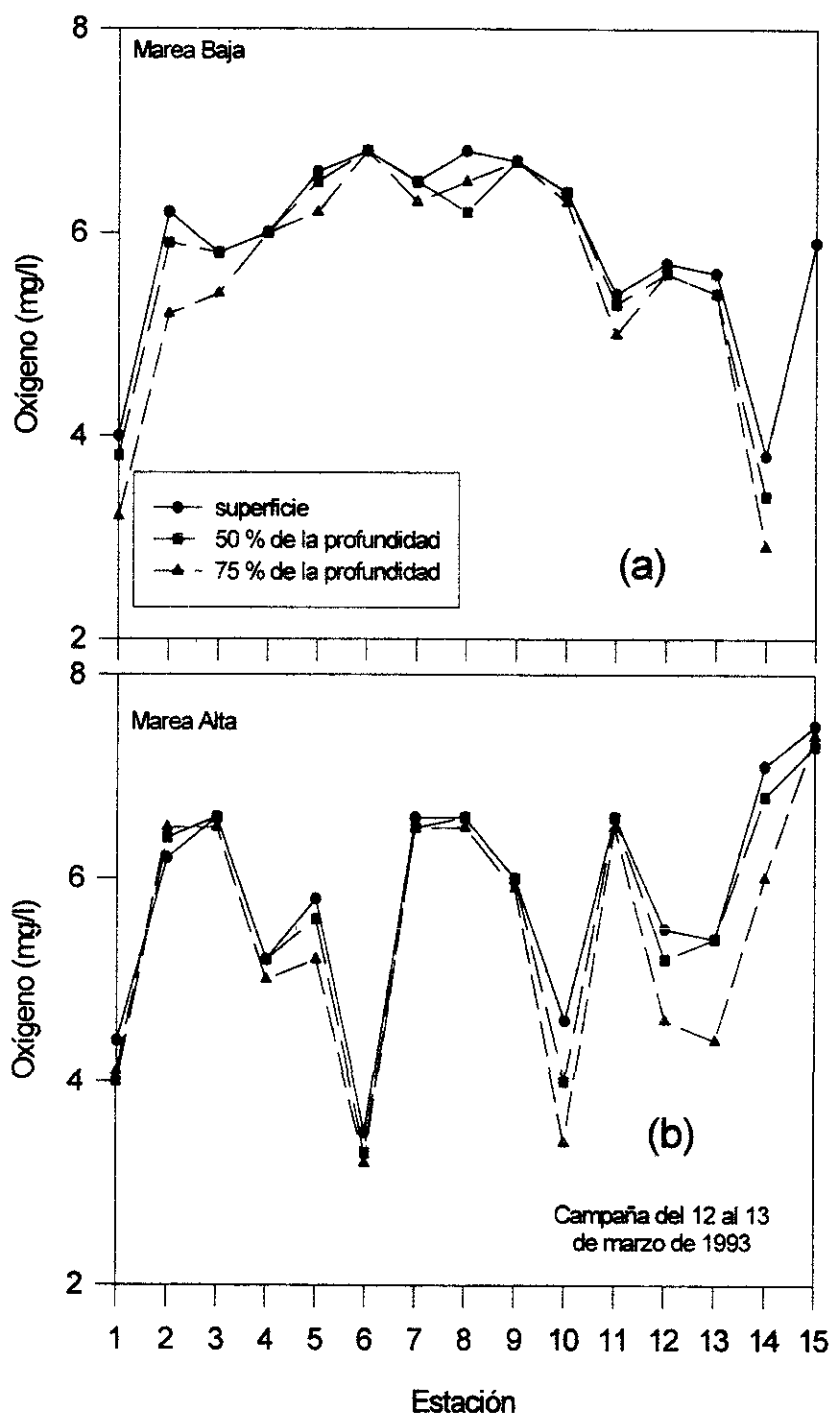


Figura 16.- Oxígeno disuelto ( $\text{mg l}^{-1}$ ) en: superficie, 50 % y 75 % de la profundidad, por estación de muestreo, en: a) marea baja y b) marea alta. Campaña del 12 al 13 de marzo de 1993.

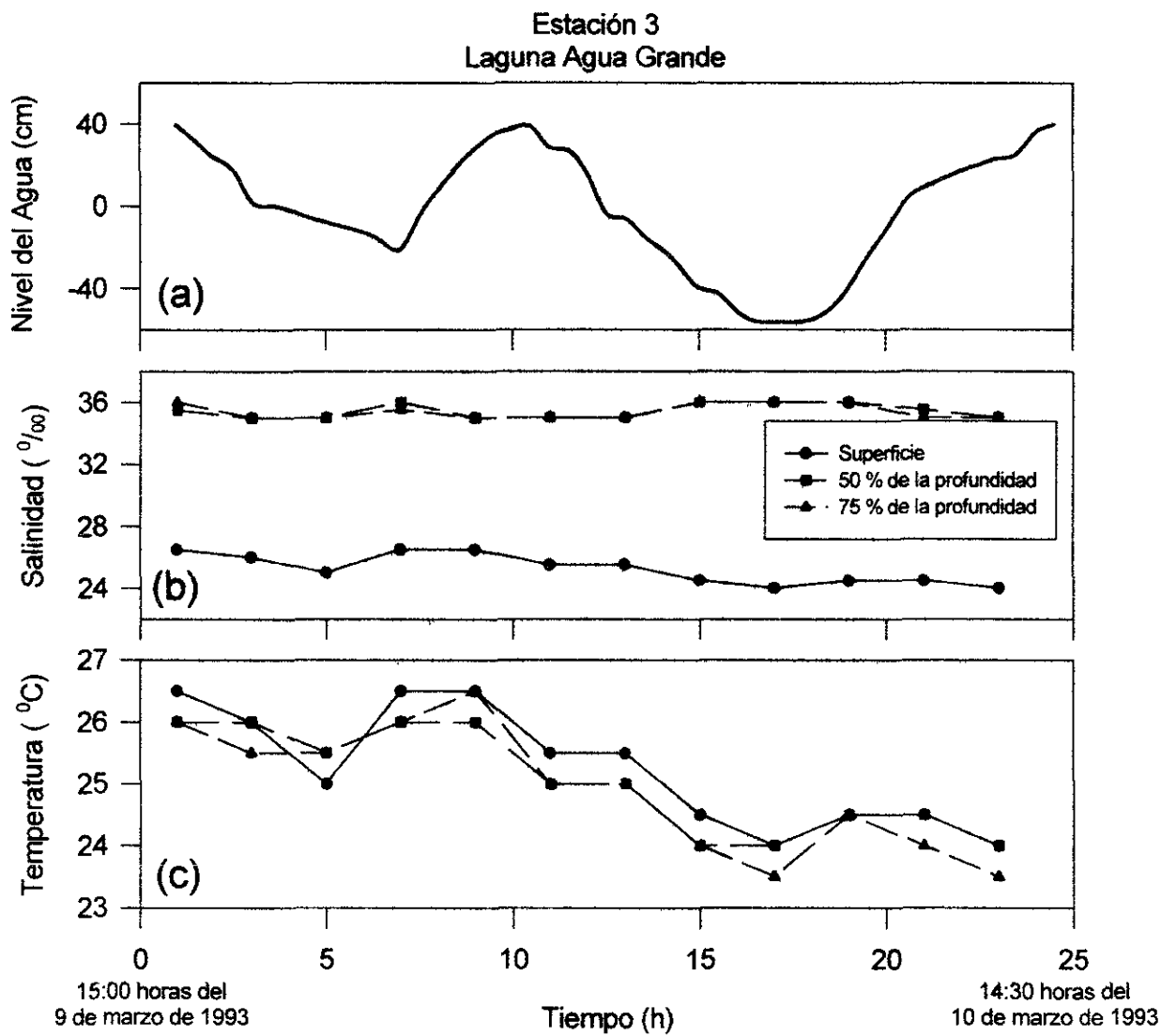


Figura 17.- Ciclo de 24 horas de: a) anomalía de la superficie libre (cm), b) salinidad (‰), y temperatura (°C), en la estación 3 (Laguna de Agua Grande).

#### **4.2 Resultados de los Muestreos de los Parámetros Ambientales Efectuados Durante los Muestreos de los Parámetros Biológicos**

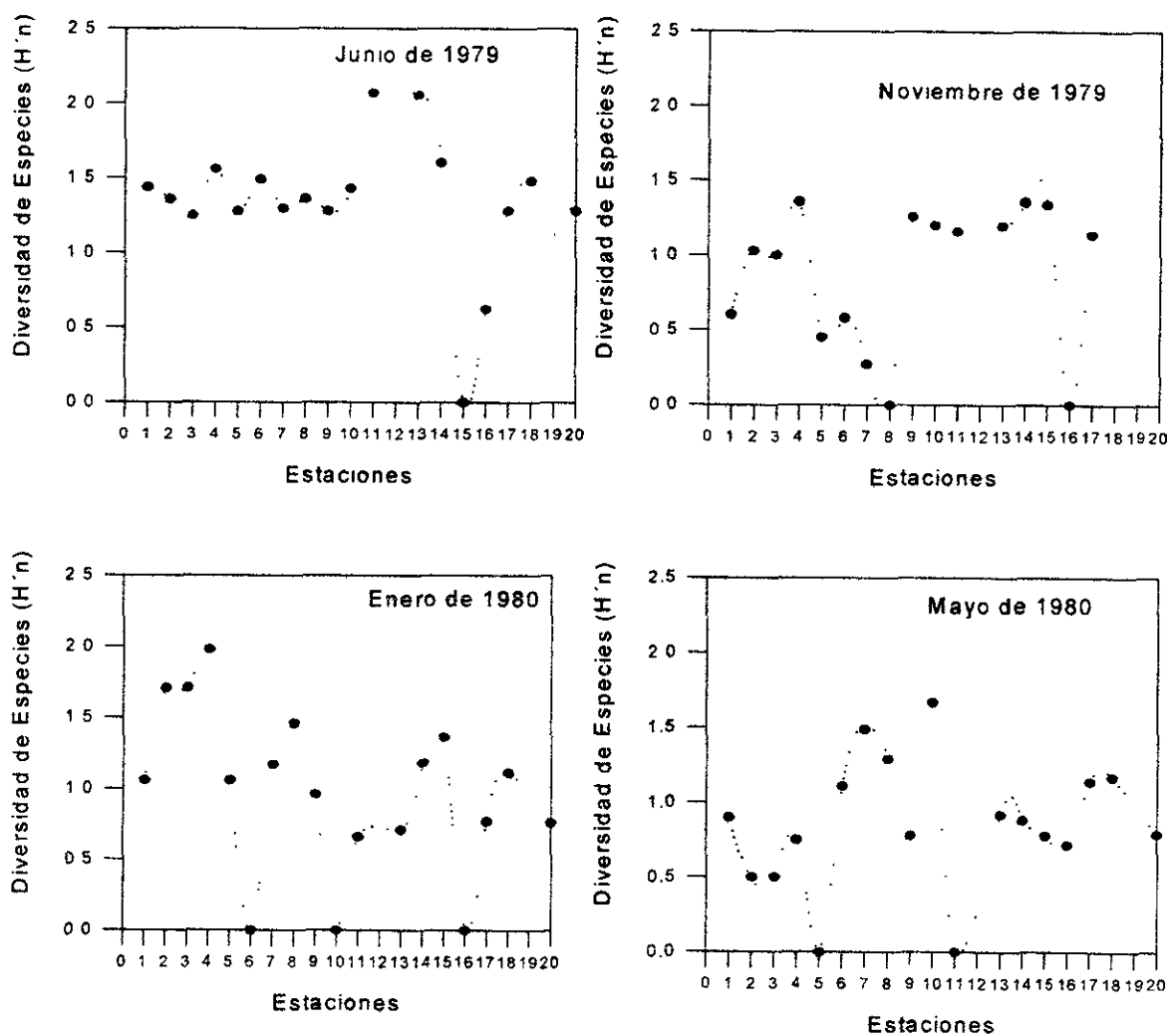
En junio de 1979, que corresponde a la época de lluvias de verano, la salinidad tuvo un rango de 30 a 35 ‰ en todo el sistema, siendo la más alta la que corresponde al Canal del Estero. Con relación a la temperatura, su variación fue de 29 a 33° C, estando la zona de más alta temperatura también en el Canal del Estero con 33° C.

Durante noviembre de 1979, que corresponde a la época de lluvias de otoño, este periodo se caracterizó por salinidades bajas que oscilan entre 0 y 18 ‰, encontrándose los valores más bajos en la laguna y los más altos en el Canal del Estero, por lo cual se considera que el sistema estuarino-lagunar, en este mes, tiende a comportarse prácticamente como dulceacuícola en algunas estaciones. Estas condiciones son generadas por el agua dulce que descargan los ríos.

En el mes de enero de 1980, época de secas de invierno, la salinidad tiende a incrementarse gradualmente a partir del término de la época de lluvias, alcanza valores que oscilan entre 23 y 37 ‰. Los valores máximos fueron encontrados en la zona del Canal del Estero y los más bajos en la laguna. Con relación a la temperatura esta tiene una variación que va de 23 a 25° C en todo el sistema. En mayo de 1980, que corresponde también a una época de secas (primavera), se caracterizó por alcanzar los valores más altos de salinidad, oscilan estos de 33 a 41 ‰, con valores intermedios de 36 ‰ en el Canal del Estero. Los valores más altos de salinidad suelen encontrarse en la laguna (41 ‰). Con relación a la temperatura, se encontró que esta oscilaba entre 24 y 31° C, registrándose el máximo valor en la laguna.

#### **4.3 Análisis de la Diversidad**

Los resultados del análisis de diversidad a lo largo del sistema, para el mes de junio de 1979, se muestra en la Figura (18), los valores oscilan de 0 a 2.0, con una tendencia a la



homogeneidad en el Canal del Estero.

Figura 18. Diversidad de especies ( $H'n$ ) para el período de muestreo de junio y noviembre de 1979, y enero y mayo de 1980 para el sistema estuarino lagunar Teacapán - Agua Brava.



Con relación al periodo de lluvias, noviembre de 1979, se observa una heterogeneidad de la diversidad a todo lo largo del sistema, encontrándose los valores menores en la laguna (Fig 18).

En el mes de enero de 1980, que corresponde a una época de secas (enero de 1980), la diversidad tiende a ser heterogénea en todo el sistema (Fig. 18). Estos cambios en la diversidad pueden ser el resultado del incremento en la salinidad.

En mayo de 1980, época de secas (mayo de 1980), la diversidad fue baja en todo el sistema estuarino-lagunar, alcanzando valores máximos de 1.7 (Fig. 18).

Es necesario mencionar que algunas áreas de la laguna pueden tener valores de 0 en épocas de lluvias y otras alcanzan valores considerados como hipersalinos (en época de secas). Esto muestra que hay zonas altamente inestables a lo largo del ciclo anual, dando lugar a una sucesión de especies salinas-dulceacuícolas-salinas.

#### **4.4 Análisis de Regresión**

En la Tabla IV se muestra el resultado del análisis de regresión para el período de muestreo de junio de 1979, muestreo efectuado por Alvarez Rubio *et al.*, (1986). La variable dependiente es la diversidad y las independientes la salinidad, la temperatura, la transparencia, y la profundidad. El análisis de varianza muestra, del valor estadístico  $F$  (1.188) y el de  $P$  (0.374), que el modelo no es significativo y ninguna de las variables afecta la diversidad en forma lineal.

TABLA IV

**Resultados del Análisis de Regresión de los Parámetros Ambientales para el Período de Junio de 1979**Variable Dependiente: Diversidad N=15,  $R^2 = 0.32$ 

Variable	Coefficiente	T	P
$\beta_0$	-9.78	-1.22	0.25
Salinidad	0.027	0.17	0.86
Temperatura	0.293	1.16	0.27
Transparencia	0.578	1.83	0.09
Profundidad			

## Análisis de Varianza

Fuente de variación	SC	DF	SCM	F	P
Modelo	1.495	4	0.347	1.188	0.374
Residuo	3.147	10	0.315		

En la Tabla V, se observa el resultado del análisis de regresión para el periodo de noviembre de 1979, en este caso el modelo resulta significativo ( $P < 0.01$ ) siendo la única variable significativa la profundidad la cual afecta la diversidad de especies en 0.153 por cada metro de profundidad, por lo cual el modelo explica a la diversidad en un 33 %.

TABLA V

**Resultados del Análisis de Regresión de los Parámetros Ambientales para el Período de Noviembre de 1979**Variable Dependiente: Diversidad N=18  $R^2 : 0.33$ 

Variable	Coefficiente	T	P
$\beta_0$	0.29	1.00	0.33
Profundidad	0.153	2.81	0.01

## Análisis de Varianza

Fuente de variación	SC	DF	SCM	F	P
Modelo	2.62	1	2.62	7.9	0.01
Residuo	5.30	16	0.33		

La Tabla VI, muestra los resultados para el período de muestreo de enero de 1980. El modelo muestra valores que no son significativos ( $F = 0.145$  y  $P = 0.995$ ), la diversidad no es afectada por los parámetros ambientales en forma lineal.

**TABLA VI**

**Resultados del Análisis de Regresión de los Parámetros Ambientales para el Período de Enero de 1980**

Variable Dependiente: Diversidad  $N=16$   $R^2 = 0.22$

Variable	Coficiente	T	P
$\beta_0$	3.12	1.30	0.22
Salinidad	-0.006	1.32	0.95
Temperatura	-0.106	-1.32	0.21
Transparencia	0.524	0.71	0.49
Profundidad	0.123	2.08	0.05
Salinidad * Temperatura	0.164	0.67	0.52
Salinidad * Transparencia	0.329	0.71	0.51
Salinidad * Profundidad	-0.398	-0.93	0.93
Temperatura * Transparencia	-0.047	-0.09	0.92
Temperatura * Profundidad	-0.014	-0.03	0.97
Transparencia * Profundidad	0.286	1.01	0.35

**Análisis de Varianza**

Fuente de variación	SC	DF	SCM	F	P
Regresión	0.898	10	0.090	0.142	0.99
Residuo	3.154	5	0.631		

En la Tabla VII se muestran los resultados del análisis para el muestreo de mayo de 1980, se observa que el modelo no es significativo ( $P < 0.06$ ), las variables no influyen en la diversidad.

**TABLA VII**

**Resultados del Análisis de Regresión de los Parámetros Ambientales para el Período de Mayo de 1980**

Variable Dependiente: Diversidad  $N=14$   $R^2 = 0.25$

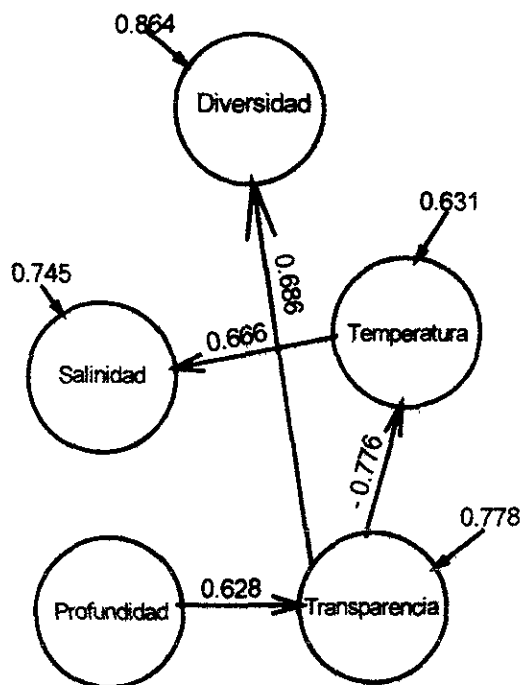
Variable	Coficiente	T	P
$\beta_0$	-2.33	-1.5	0.16
Temperatura	0.221	2.91	0.06

Análisis de Varianza

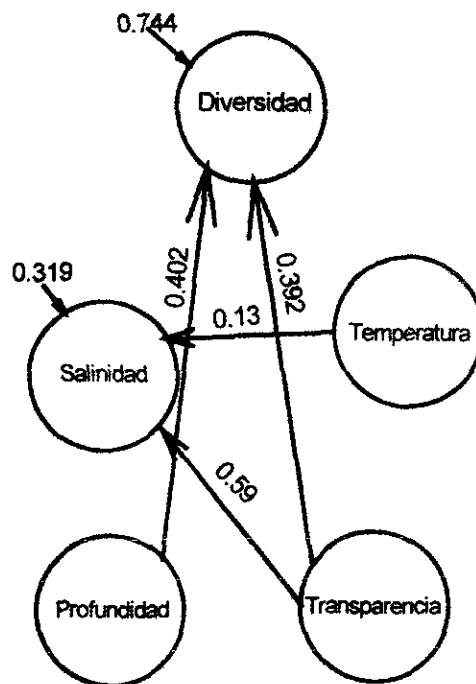
Fuente de variación	SC	DF	SCM	F	P
Regresión	0.99	1	0.99	4.10	0.06
Residuo	2.89	12	0.24		

#### 4.5 Análisis de Senderos

El análisis de senderos como método exploratorio de datos muestra el efecto causal de las variables ambientales con la diversidad. En la Figura (19) se muestran los diagramas causales para los períodos de muestreo de los meses de junio y noviembre de 1979. Se puede observar que en el mes de junio (Fig. 19a) el efecto causal de la profundidad es indirectamente. En el caso de la transparencia es directamente con un valor de 0.686. La profundidad afecta la diversidad en forma indirecta (Profundidad - Transparencia) con un valor de 0.430. Esto indica que cuando se incrementa la profundidad, con la transparencia, la diversidad se incrementa en 0.430. En el caso de la transparencia su efecto es directo, así que por cada unidad que se incremente la transparencia, la diversidad se incrementara en 0.686. Con relación al resto de las variables, éstas no tienen ningún efecto causal sobre la diversidad.



(a) Junio de 1979



(b) Noviembre de 1979

Figura 19. Diagrama resultante del análisis de senderos, para el efecto causal de los parámetros ambientales sobre la diversidad ( $H'n$ ), para los muestreos de (a) junio y (b) noviembre de 1979, del sistema estuarino lagunar Teacapán - Agua Brava.

Los resultados del análisis de senderos para el mes de noviembre de 1979 (Fig. 19b), muestran que la Profundidad y la Transparencia tienen un efecto directo sobre la diversidad con un valor de 0.402 y 0.392, respectivamente.

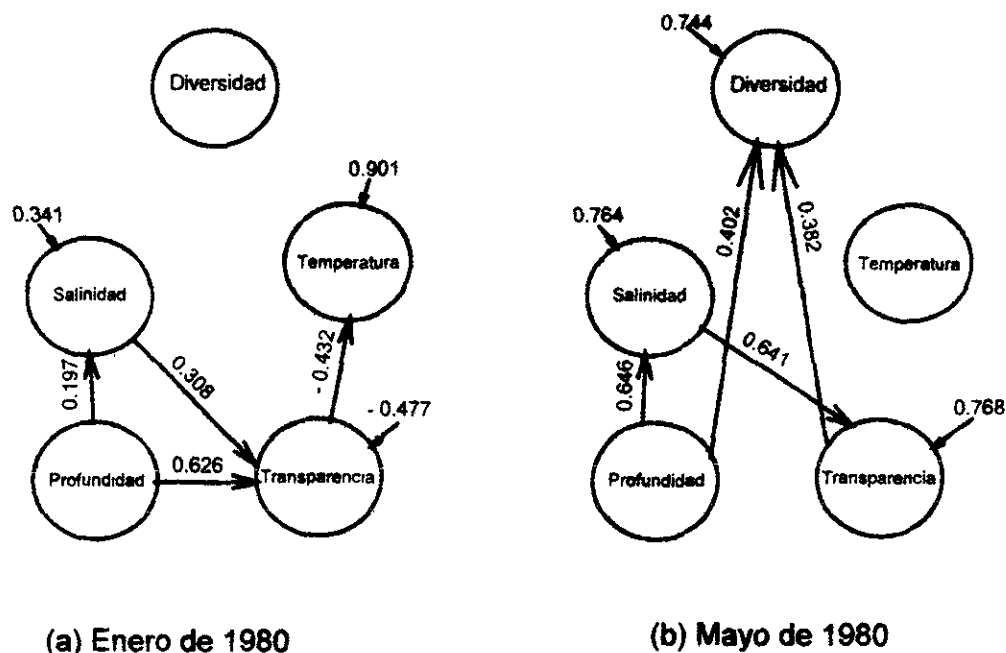


Figura 20. Diagrama resultante del análisis de senderos, para el efecto causal de los parámetros ambientales sobre la diversidad ( $H'n$ ), para los muestreos de: (a) enero y (b) mayo de 1980, del sistema lagunar Teacapán - Agua Brava.

En el diagrama de senderos para el mes de enero (Fig. 20a) se observa que ninguno de los parámetros ambientales afectó la diversidad. Para el mes de mayo de 1980 (Fig. 20b), se observa que se vuelve a presentar el efecto causal de la profundidad y de la temperatura sobre la diversidad. Esta es afectada directamente por la profundidad, de tal forma que por cada unidad que se incremente la profundidad, la diversidad se incrementará en 0.402, manteniéndose constante la transparencia. Esto es por cada unidad que se incremente la transparencia, la diversidad se incrementa en 0.382, siempre que la profundidad se mantenga constante. Es necesario mencionar que también la profundidad afecta a la diversidad en forma indirecta (profundidad-salinidad-transparencia) con un valor de 0.158, a su vez la salinidad afecta indirectamente a la diversidad vía la transparencia con un valor de 0.244.

#### 4.6 Análisis del Escalamiento Multidimensional

En la figura 21, se muestra el mapa resultante del escalamiento multidimensional que permite identificar el efecto del patrón trófico. En el eje de la  $X$  se mide el grado de carnívoro, mientras que el de las  $Y$ , el cambio de carnívoro a omnívoro, los datos usados para determinar las variables utilizadas en este escalamiento fueron tomados de Alvarez Rubio (1983) y de Aragón Piña (1989), usadas como una escala de razón adimensional. De los resultados se observan tres especies *L. stolifera*, *M. curema* y *E. axillaris* en el primer cuadrante; las dos primeras especies consideradas de primer orden, coinciden en el consumo de alimentos de foraminíferos. *E. axillaris* presenta una tendencia a ser una especie carnívora, su dieta tiende a ser restos de peces, mejillones y MOND. *A. mazatlanus*, *G. cinereus* y *E. currani*, se presentan en el cuarto cuadrante, las primera dos especies tienden a consumir lo mismo: poliquetos, MOND y restos vegetales principalmente; por lo cual estas especies tienden a competir por el mismo alimento. *C. robalito* y *L. novenfasciatus*, se encuentran en el tercer cuadrante, son especies totalmente carnívoras donde el principal recurso que los hace común son los restos de peces. Estas especies tienen una fuerte competencia por el recurso alimento, mientras que *N. pectoralis* es una especie carnívora que consume restos de peces, poliquetos, amphipodos e isopodos.

Existen especies que tienden a tener cierta similitud de hábitos alimenticios como son las especies *C. hippos*, *G. caerulescens* y *P. macracanthus*, especies que son totalmente carnívoras, el alimento que las hace a fin son los restos de peces, crustáceos y poliquetos.

El restos de las especies consumen principalmente poliquetos, por lo cual existe una tendencia a una competencia más intensa por el alimento y el espacio. Esto hace que para esta época las especies dominantes del sistema se encuentren distribuidas en todo el sistema.

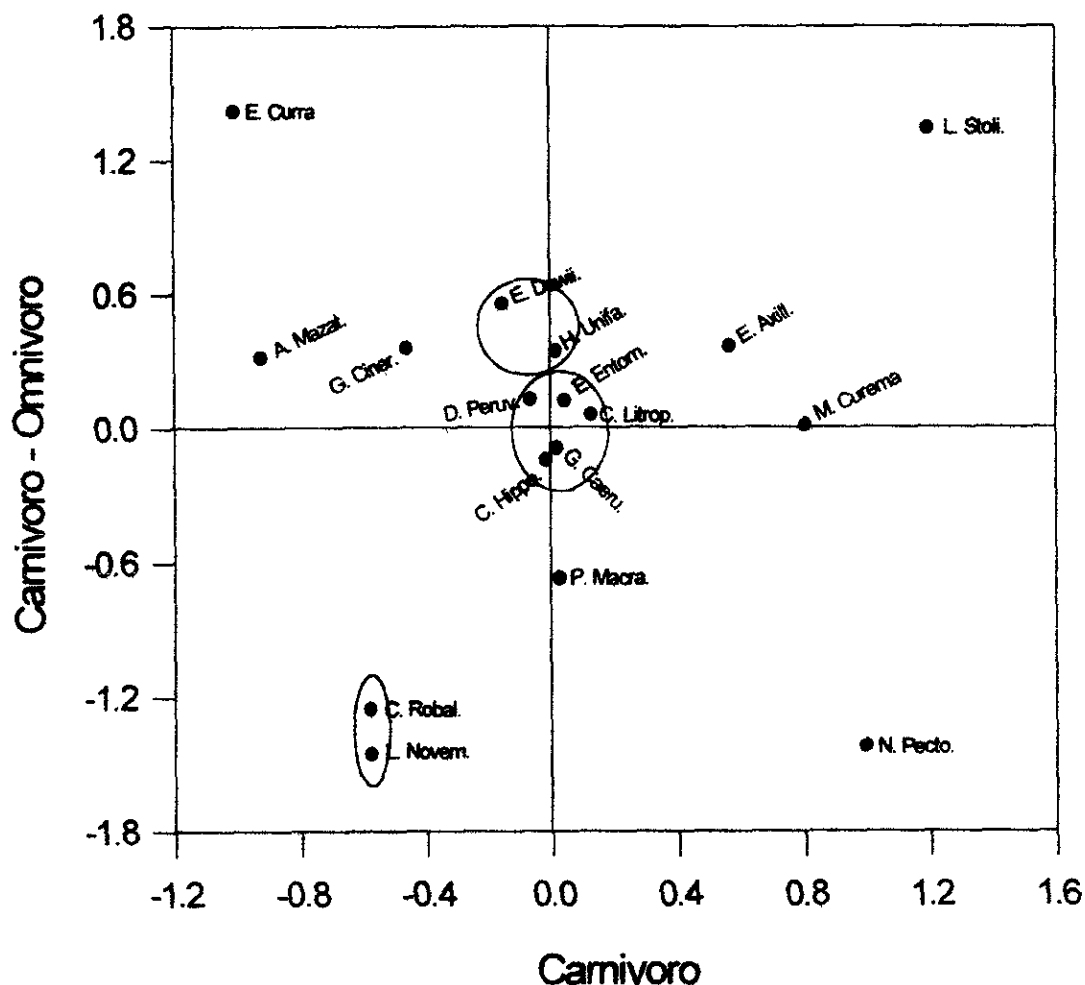


Figura 21. Diagrama de la distribución de las especies con base en sus hábitos alimenticios para la época de lluvias, período 1978-1979, del sistema estuarino lagunar Teacapán - Agua Brava.

De los resultados para la época de secas (Fig. 22), se puede ver una mayor aglomeración de las especies dominantes en comparación con la época de lluvias. La especie *A. mazatlanus* es la especie que se aleja más del resto de las especies, esto es quizás porque consume más cantidades de poliquetos y MOND que el resto de los peces (Alvarez Rubio *et al.*, 1986). *L. novemfasciatus* y *L. argentiventris*, aunque son del mismo género no tienen afinidades por el alimento. Mientras que la primera especie consume peces y vegetales, la segunda consume crustáceos y tanaidáceos con lo cual la interacción entre estas especies tiende a ser



poco intensa para esta época. *H. unifasciatus* consume principalmente restos vegetales y MOND, *L. stolifera* muestra una preferencia por foraminiferos algas y ostrácodos, mientras que *P. macranthus* consume vegetales y algas. *M. curema* consume copepodos, detritus y diatomeas. *E. axillaris* principalmente algas y ostracodos. El siguiente grupo formado por *E. entomelas*, *G. cinereus*, *E. currani*, etc., son especies que coinciden en mayor o menor proporción por el tipo de alimento, el cual se caracteriza por estar compuesto de poliquetos y restos de algas. Asociados a ellos se encuentra *G. caeruleus* donde su dieta es de peces, isopodos, huevos de invertebrados y cangrejos (Alvarez Rubio, 1986).

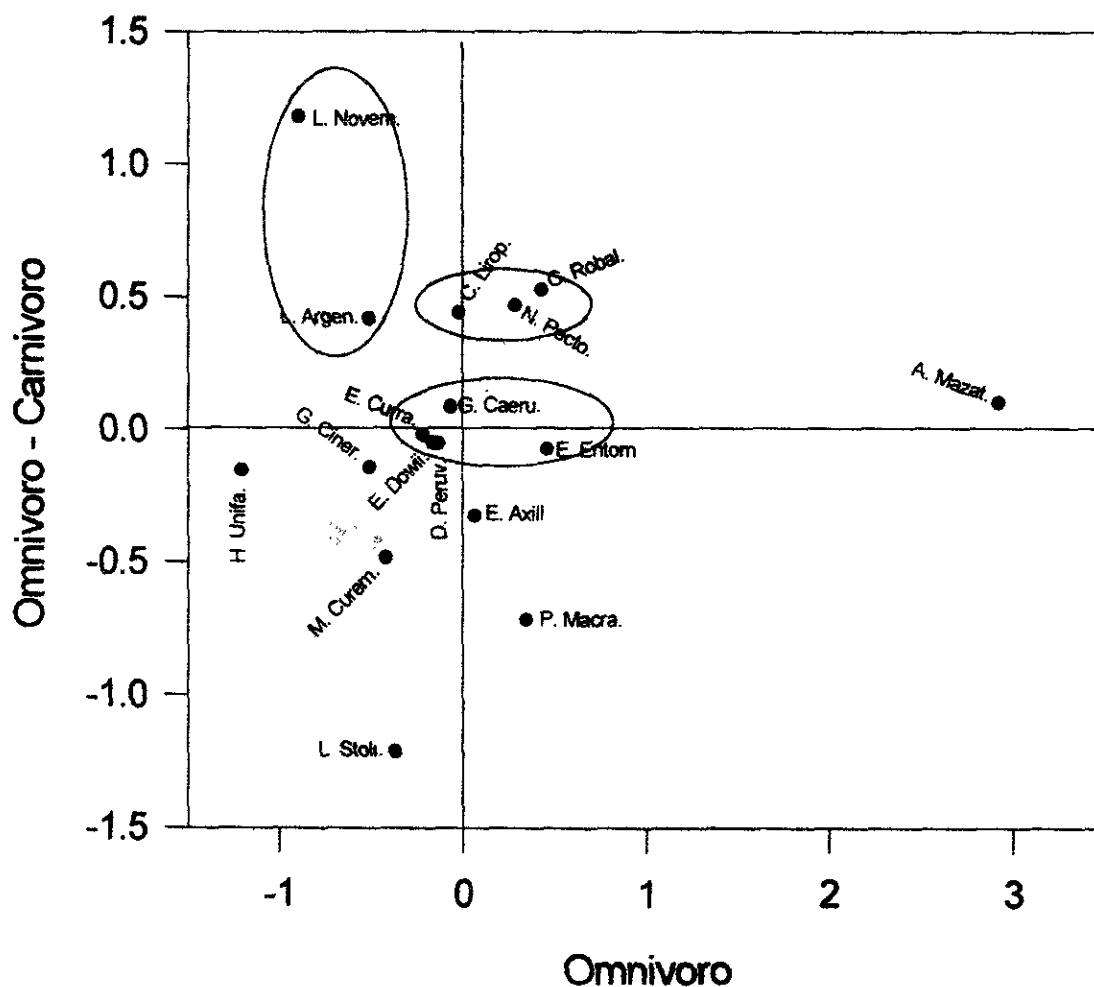


Figura 22. Diagrama de la distribución de las especies con base en sus hábitos alimenticios para la época de secas, período 1978-1979, del sistema estuarino lagunar Teacapan-Agua Brava

## CAPITULO V

### DISCUSIÓN

El sistema estuarino lagunar Teacapán - Agua Brava, esta conectado por dos bocas, una natural (Boca de Teacapán) y otra artificial (Boca de Cuautla). Estas permiten una conexión permanente con el Océano Pacífico, y son importantes como puentes para el flujo de especies marina al sistema. Debido a la gran cantidad de mangle, el sistema es considerado como un productor primario. Los ríos que drenan del continente, aportan energía, principalmente en la época de lluvias, se abate la salinidad del período de secas. Por lo cual el sistema no es dinámicamente estable.

Las características ambientales: Hidrodinámicas e hidrográficas del sistema lagunar Teacapán – Agua Brava, se han modificado; esto como resultado de la disminución del aporte de agua dulce debido a la formación de extensos distritos de riego (construcción de presas y desviación de causes de agua dulce). El dragado de la boca de Cuautla modificó sustancialmente las condiciones y debido a que dicha boca continua agrandándose.

La parte alta del sistema, (laguna de Agua Grande) muestra una mayor cantidad de oxígeno, salinidad, mayor transparencia y temperatura, pero menor velocidad de la corriente, que la parte baja del sistema (laguna de Agua Brava).

La onda de marea al propagarse en el sistema tarda 1.5 horas para llegar a la parte alta de la laguna de Agua Grande, mientras que para alcanzar la parte inferior de la Laguna de Agua Brava, tarda solo 0.3 horas. En ambos casos la amplitud cambia muy poco, en el caso de la laguna de Agua Grande disminuye en aproximadamente 4 cm, mientras que en la parte interna de la laguna de Agua Brava (Estero de Chalatlilla) disminuye solo 2 cm.

La salinidad solo se encuentra modulada por la onda de marea en las bocas, mientras que en las estaciones más alejadas de éstas, muestran una oscilación con un desfase de  $180^\circ$ .

La magnitud de la corriente y el valor de los diferentes parámetros hidrográficos muestran un comportamiento muy similar a las tres profundidades muestreadas, no así entre una estación y otra, lo que sugiere que el sistema puede ser considerado como verticalmente homogéneo con un fuerte gradiente horizontal.

Estudios previos mencionan que el alimento tiende a ser más abundante en la parte sur del sistema, mientras que en la parte norte es poco abundante pero más diverso, esto puede ser porque existen condiciones más estables en cada estación climática o por las diferencias en el patrón de circulación. Por ejemplo la descarga de los ríos hace que las condiciones ambientales sean más adecuadas para especies eurihalinas, este fenómeno es más frecuente en la zona sur, además del intercambio que existe con el mar por medio de la boca artificial, las condiciones tienden a ser totalmente heterogéneas, de aquí que ciertas especies estén presentes en todo el ciclo anual. La parte norte del sistema se considera como más estable, ambientalmente comparado con la zona sur del sistema.

En la parte norte del sistema la salinidad es mayor debido a un menor aporte de agua dulce, la transparencia es mayor y la cantidad de oxígeno tiende a incrementarse, probablemente porque hay menos material en suspensión, y requiere de oxígeno para su oxidación. Lo sinuoso de los canales hace que se tengan pérdidas de energía por fricción con velocidades menores en la parte norte que en la zona sur, en ésta parte del sistema se encontró una salinidad menor, quizás por el efecto de la descarga de los ríos, éstos traen material en suspensión que reduce la transparencia, material que al oxidarse reduce la cantidad de oxígeno disuelto en el agua. Debido a la posición de la Boca de Cuautla muy próxima a la Laguna de Agua Brava, el intercambio de masa con el Océano Pacífico es mayor que en la zona norte. Los gradientes de salinidad, temperatura y oxígeno son más grandes en la zona sur que en la zona norte y forman un ambiente heterogéneo, lo cual

puede propiciar la existencia de una mayor diversidad de peces.

Los peces tienden a distribuirse a todo lo largo del sistema, ocupándolo al máximo, esto da lugar a que especies dominantes ocupen el sistema en todo el ciclo anual, éstas pueden tener diferentes hábitos alimenticios como: omnívoros, detritívoros, plantónicos o carnívoros.

Los resultados del análisis de los datos del muestreo de junio de 1979, no mostró ningún efecto lineal de las variables ambientales consideradas sobre la diversidad. Al analizar el efecto de los parámetros ambientales sobre la diversidad, ninguno de estos resultó significativo, por lo tanto estas variables para este muestreo aplicadas al modelo de regresión lineal múltiple, no explican la diversidad. Así mismo se realizó el método de análisis de “*step wise*” y se obtuvo el mismo resultado, por lo cual sugiere que la diversidad de especies no se vio afectada de manera lineal por los cambios ambientales en dicha época. Para el período de noviembre de 1979, solo la profundidad mostró un efecto significativo sobre la diversidad ( $p < 0.01$ ). Por lo cual ésta es explicada en un 33% por la profundidad.

De los resultados del análisis de senderos, para junio y noviembre se observa que la diversidad de especies es afectada en forma directa por la transparencia y en forma indirecta la profundidad. Por lo cual se puede decir que para esta época y bajo estas condiciones la diversidad es afectada por la transparencia en forma directa e indirectamente por la profundidad vía la transparencia. Así mismo, las variables como la salinidad y la temperatura no influyen en la diversidad; es necesario recordar que en la época de junio se inicia el período de lluvias, y la salinidad tiende a disminuir al igual que la temperatura, debido al agua que drenada del continente, se originándose fuertes corrientes y una disminución de la transparencia con un incremento en la profundidad.

De lo anterior se puede deducir que en estos dos muestreos correspondientes al período de lluvias, los parámetros que regularmente afectan la distribución y abundancia (salinidad y temperatura) no afectaron a la diversidad en forma directa.

El resultado del análisis de regresión para el mes de mayo de 1980, no resulto significativo ( $p < 0.06$ ), por lo cual ninguna variable explica en forma lineal a la diversidad.

En el análisis de senderos, tanto la profundidad como la transparencia tienen un efecto lineal sobre la diversidad, con un incremento de 0.402 y 0.382 respectivamente. Asimismo, las variables que tienen un efecto indirecto sobre la diversidad son la profundidad y la salinidad vía el sendero profundidad – salinidad – transparencia.

Por lo cual se puede decir que el modelo reducido de regresión lineal múltiple no coincide con el análisis de senderos.

Los resultados del análisis de regresión para el período de enero de 1980, no muestran un comportamiento lineal sobre la diversidad, esto es, ninguna de sus variables es significativa, tanto en el modelo completo como en el reducido. Del análisis de senderos, se observa que ninguna variable tiene efecto sobre la diversidad, esto indica que el efecto de los parámetros ambientales.

Para este estudio el modelo de regresión lineal no aportó información del efecto de los parámetros ambientales sobre la diversidad, por lo tanto se puede considerar que las variables ambientales no explican en forma lineal el efecto de éstas sobre la distribución de las especies. En el caso del modelo de análisis de senderos, el efecto de los parámetros ambientales sobre la diversidad no es muy marcada.

El uso del análisis de senderos, es de gran apoyo para las investigaciones de esta área, principalmente como un análisis exploratorio. Ésta tiene que estar acompañada por buenos muestreos, tanto físico como biológico, y reforzar los supuestos antes descritos.

Con relación a la regresión múltiple, es necesario tener cuidado en los supuestos correspondientes a esta técnica, al igual que en el Análisis de Senderos, el cumplimiento de éstos es fundamental para una buena interpretación de los datos. Por lo cual esta técnica es complementaria para dar una posible explicación del grado de causalidad de los parámetros ambientales sobre la diversidad.

Los hábitos alimenticios de los peces son diversos, ya que dependen de la disponibilidad del alimento y de la época del año. En el sistema Teacapán - Agua Brava se pueden encontrar peces con hábitos plantófagos, carnívoros, omnívoros y detritívoros principalmente, alimentándose tanto en la superficie como en el bentos. Resultados similares fueron reportados por Alvarez Rubio (1983).

En la época de lluvias las especies *N. pectoralis*, *C. hippos*, *H. unifasciatus*, *L. stolifera*, *G. cinereus*, *L. novemfasciatus*, *E. currani* y *A. mazatlanus*, tienden a desplazarse hacia el norte. Mientras que las especies *E. axillaris*, *E. entomelas*, *G. caeruleus*, *A. liropus*, *C. robalito*, *L. argentiventris* y *M. curema*, tiende a utilizar más la parte sur del sistema.

En la época de secas las especies *E. dowii*, *D. peruvianus*, *G. cinereus*, *G. caeruleus*, *H. unifasciatus*, *C. hippos* y *L. stolifera*, tienden a distribuirse hacia la parte norte del sistema, mientras que las especies *M. curema*, *P. macracanthus*, *E. dowii*, *G. caeruleus*, *A. liropus*, *E. entomelas*, *A. mazatlanus*, *C. robalito* y *D. peruvianus*, se desplazan hacia la parte sur del sistema.

Con el escalamiento multidimensional se observa que los peces dominantes tienden a utilizar al máximo el sistema. Sin embargo, para algunas especies variará su distribución en función de la estación climática, por lo cual es poco predecible la distribución por grupos de peces. No obstante que las especies tienen cierta similitud, no es frecuente encontrarlos en cualquier área, ya sea porque la técnica del muestreo, la hora del muestreo o posiblemente por competencia por espacio y/o alimento no lo permitieron.

Las estrategias en diferentes ambientes cambia periódicamente. Por lo cual el nivel trófico de una especie puede cambiar en el tiempo dependiendo de las condiciones climáticas. De lo anterior se deduce que en el caso de especies dominantes en el sistema lagunar Teacapán - Agua Brava, la amplitud y el traslape del nicho estará sujeta a los cambios climáticos estacionales, a la disponibilidad del alimento y al desplazamiento de cada especie para escapar de la depredación. Livingston (1984), considera que la organización de la trama trófica tiende a conservarse con la variabilidad del hábitat.

En este sistema, no se puede hablar de una estabilidad ambiental ya que durante todo el año se encuentra conectado con el Océano Pacífico por medio de las dos bocas, además de que los ríos descargan agua estacionalmente, dando lugar a una sucesión de especies de peces a lo largo del ciclo anual. De esto se puede inferir que puede haber una sucesión de los recursos alimenticios para la comunidad de peces.

Los alimentos que están en mayor disponibilidad son: plantas vasculares y algas, este alimento es utilizado en mayor frecuencia por: *E. currani*, *H. unifasciatus*, *E. dowii*, *A. liropus*, *G. caeruleascen*, estas especies son consideradas como omnívoras. En el caso del zooplancton, este es consumido de preferencia por *D. peruvianus*, *E. entomelas*, *G. cinereus* y *L. stolifera*. Con relación a la fauna bentica *E. entomelas*, *E. dowii*, *A. liropus*, *E. axillaris*, *M. curema*, *Lutjanus sp.*, *C. hippos*, *N. pectoralis*, *A. mazatlanus* y *C. robalito*. Los animales considerados de nado libre son especies omnívoras y carnívoras como *G. caeruleascens*, *L. argentiventris*, *C. hippos*, *P. macracanthus*, *N. pectoralis* y *C. robalito*. El detritus orgánico es utilizado por *M. curema*, *A. liropus*, *E. dowii*, *E. entomelas*, *E. currani*

y *D. peruvianus*. Este detritus es el alimento principal de las cadenas tróficas de mayor eficiencia en la producción del sistema lagunar, por lo cual se sugiere profundizar más sobre las comunidades bénticas.

Las especies dominantes que conforman la comunidad de peces del sistema lagunar Teacapán Agua Brava, tienden a compartir los mismos recursos como son el alimento o el espacio, variando su intensidad en el aprovechamiento de este, da lugar a una mayor coexistencia si se evita la competencia inter e intraespecífica. Estas especies tienen una adaptabilidad en todo el ciclo anual lo que las hace dominantes. Weatherly (1972), menciona que las especies de peces que compiten por el mismo recurso (alimento o espacio) si este no es muy abundante entonces una de las especies puede ser extinguida. La fuerte competencia (inter e intraespecífica) reduce la tasa de crecimiento y si el alimento es escaso la especie más débil se excluye o se limita.

Las especies poseen un nicho fundamental, pero las interacciones con otras especies reducen su nicho real. Así las interacciones más frecuentes son consideradas como la competencia y depredación. El nicho de una comunidad aparentemente es discreto, donde las especies tienden a utilizar partes de los nichos fundamentales de otras especies resulta en una mayor demanda sobre el recurso por dos o más poblaciones, existiendo una interacción mayor entre las especies de la comunidad (Guiller 1984).



Nayarit. *An. Inst. Geof.* 5(22-23): 105-115.

Comisión Nacional del Agua, 1991. Resultados de la reunión de concertación para el análisis y evaluación del SHINO. Doc. Int. CNA, 9 p., México D.F.

Curry, J.R., F.J. Emmel, y P.J. Crampton, 1969. *Holocene History of a Strand Plain, Lagoon Coastal, Nayarit, Mexico*: 63-100. In: Ayala-Castañares, A y F.B. Phleger (Eds.), *Lagunas Costeras un Simposium. Mem. Simp. Intern. Costeras. UNAM-UNESCO*, Nov. 28-30, 1967: 686.

D'croz, L y A.A., Aversa, 1979. Observaciones sobre abundancia y la diversidad de las poblaciones de peces estuarinos en el Caribe de Panamá. *Rev. Biol. trop.*, 27(2): 189-201.

DUNCAN, O.D. 1975. *Introduction to Structural Equation Models*. Nueva York: Academic Press.

Flores-Verdugo F. F. Amezcua Linares, A. Yañez-Arancibia y M. Alvarez Rubio, 1990. Mangrove ecology, aquatic primary productivity and fish community dynamics in the Teacapán-Agua Brava Lagoon-Estuarine system (Mexican Pacific). *Estuaries*, Vol. 13, No. 2, pp 219-230.

García, E., 1973. *Modificaciones al Sistema de clasificación al Sistema Climático de Koepen*. Univ. Nal. Autón. de México Inst. Geogr. 246 p.

Guiller, P. S. 1984. *Community structure and the niche*. Champan and Hall, New York, 176p.

Holling, C.S., 1966. Resilience and stability of ecology system. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 4:1-23.

Livingston, R.J. 1984. Trophic response of fishes to habitat variability in coastal seagrass system. *Ecology* 65(4): 1258-1275.

Margalef, R., 1978. *General Concepts of Populations dynamics and food links. In Marine ecology. Vol.4. Dynamics*. editado por O. Kinne. Chichester, R. U., Wiley-Interscience, pp. 617-704.

Núñez Pasten, A., 1973. *Hidrología del Sistema Teacapán - Agua Brava en la planicie costera de los estados de Sinaloa y Nayarit México*. Tesis Profesional, Esc. Biol. Univ. Autón. Edo. Mor. 38 p.

Ogren, H.L. y H.A. Brusher, 1977. The distribution and abundance of fishes caught with a trawl in the St. Andrew Bay Siatem Florida. *North gulf Sci.*, 1(2): 83-105

- Pauly D, 1975 On the ecology of a small West-African lagoon. *Sonder-druck aus Bd.*, 24:46-42.
- Pianka, E.C.,1982. *Ecología Evolutiva*. Edit. Omega Barcelona, 365 p.
- Rollet, B., 1984. *La ecología de los manglares con referencia especial a la base biológica para la ordenación sostenida, forestal y pesca*. Documento presentado al Seminario regional de la FAO sobre Ordenación Integrada de los Manglares. Cuba-Venezuela-Colombia, 5-23 de noviembre de 1984, 33 p.
- Saucedo Barrón, C.J. y M. Ramírez Rodríguez, 1994. Peces de importancia comercial en el sur del estado de Sinaloa, México (Pesca Artesanal). In. *Mar. CICIMAR*, Vol. 9, Núm. 1, 51-54.
- Wrihgt, S. 1934. The Method of Path Coefficients. *Annals of Mathematical Statistics*, 5:161-215
- Weatherley, A.H. 1972. *Growth and Ecology of fish Populations*. Academic Press. London New York 293p.
- Yañez-Arancibia, A. 1986. *Ecología de la Zona Costera*; Análisis de siete tópicos. Edit. AGT. México, 189 p.