

191  
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

EVALUACION DEL IMPACTO PRODUCIDO SOBRE  
EL ICTIOPLANCTON MARINO POR LA OPERACION  
DE UNA CENTRAL TERMoeLECTRICA

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
B I O L O G O  
P R E S E N T A  
FERNANDO ULISES SALINAS VELAZQUEZ

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

CIUDAD UNIVERSITARIA, MEXICO, D.F. SEPTIEMBRE DE 1990.



## **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 está 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.

# INDICE GENERAL

Pág.

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABLAS	iv
RESUMEN	vii
1. INTRODUCCION	1
1.1 <i>Objetivos</i>	9
2. ANTECEDENTES	11
2.1 <i>Realización del proyecto</i>	11
2.2 <i>Descripción del área de estudio</i>	15
2.2.1 <i>Caracterización ambiental</i>	15
2.2.1.1 <i>Climatología</i>	15
2.2.1.2 <i>Morfología litoral</i>	19
2.2.1.3 <i>Oceanografía</i>	20
2.2.2 <i>Caracterización biológica</i>	34
2.2.2.1 <i>Distribución espacial y temporal del ictioplancton dentro de la Corriente de California</i>	34
2.2.2.9 <i>Especies marinas locales y migratorias de aves y mamíferos</i>	49
2.2.3 <i>Productividad pesquera</i>	49
3. METODOLOGIA	55
3.1 <i>Delimitación del área marina influenciada por la C.T.</i>	55
3.2 <i>Métodos de campo</i>	58
3.3 <i>Métodos de laboratorio</i>	63
3.4 <i>Trabajo de gabinete</i>	65

	Pág.
4. RESULTADOS	70
4.1 <i>Parámetros fisicoquímicos</i>	70
4.2 <i>Parámetros biológicos</i>	80
4.2.1 Distribución, abundancia y diversidad del ictioplancton en junio	80
4.2.2 Distribución, abundancia y diversidad del ictioplancton en octubre	83
4.3 <i>Cálculos efectuados a partir de los resultados fisicoquímicos y biológicos</i>	86
4.3.1 Análisis de correlación lineal cruzada entre parámetros	86
4.3.1.1 Correlaciones realizadas con los resultados de junio	86
4.3.1.2 Correlaciones realizadas con los resultados de octubre	88
4.3.2 Estimación del número de organismos ictioplanctónicos eliminados por acarreo a través del condensador de la C.T. Tijuana.	90
5. DISCUSION	94
6. CONCLUSIONES	119
7. RECOMENDACIONES	124
8. REFERENCIAS	129
ANEXO I	141
ANEXO II	151
ANEXO III	157

## LISTA DE FIGURAS

			Pág.
No. Figura			
1		Ciclo de operación de una C.T. con sistema de enfriamiento abierto.	4
2		Ubicación de la C.T. Tijuana (Planta existente) y su ampliación, la C.T. Rosarito II en Rosarito, B.C.N.	12
3		Localización de la C.T. Tijuana y del poblado de Rosarito, B.C.N.	13
4		Variación de la cota cero (noviembre-febrero 1985).	21
5		Variación de la cota cero (mayo-agosto 1985).	21
6		Corrientes litorales adyacentes a las obras de toma y descarga de la C.T. Tijuana (julio-agosto 1985).	25
7		Corrientes litorales adyacentes a las obras de toma y descarga de la C.T. Tijuana (septiembre 1985).	25
8		Corrientes litorales adyacentes a las obras de toma y descarga de la C.T. Tijuana (octubre 1985).	26
9		Corrientes litorales adyacentes a las obras de toma y descarga de la C.T. Tijuana (noviembre 1985).	26
10		Corrientes litorales adyacentes a las obras de toma y descarga de la C.T. Tijuana (enero 1986).	27
11		Corrientes litorales adyacentes a las obras de toma y descarga de la C.T. Tijuana (febrero 1986).	27

## No. Figura

12	Corrientes litorales adyacentes a las obras de toma y descarga de la C.T. Tijuana (marzo 1986).	28
13	Corrientes litorales adyacentes a las obras de toma y descarga de la C.T. Tijuana (abril 1986).	28
14	Rosa de alturas de ola	30
15	Rosa de periodos de ola	30
16	Curva de cloro residual para el punto de rompimiento de la cloración.	35
17	Areas y Regiones CalCOFI.	40
18	Fluctuaciones de abundancia estacional de los taxa mayores del Ictioplancton.	47
19	Fluctuaciones de abundancia estacional de las categorías mayores del Ictio- plancton.	47
20	Porcentaje de la producción pesquera del Pacífico Mexicano y de Baja California respecto al total nacional.	52
21	Volumen y valor de la producción pesquera para Baja California.	52
22	Area de estudio: batimetría y estaciones de muestreo.	56
23	Determinación del área de influencia de la futura descarga térmica según simulaciones de CFE.	57
24	Evaluación de la actual zona de influencia térmica (C.T. Tijuana, junio-octubre 1988).	73

## No. Figura

25	Distribución y alcance de la descarga térmica de la C.T. Tijuana para condiciones de junio 1988.	75
26	Distribución y alcance de la descarga térmica de la C.T. Tijuana para condiciones de octubre 1988.	75

LISTA DE TABLAS

No. Tabla		Pág.
1	Promedios mensuales y anuales de diferentes fenómenos climáticos para la estación climatológica "Planta de Bombeo Rosarito".	16
2	Temperatura media mensual del agua medida con equipo autónomo.	31
3	Registros de cloración en la Central Termo-eléctrica Tijuana durante 1987.	33
4	Comparación de abundancias relativas de larvas de peces capturadas durante 1975 con las capturadas durante el periodo 1955-1958 por las investigaciones anuales CalCOFI.	37
5	Porcentaje de contribución de las categorías taxonómicas mayores al total del ictioplancton colectado en cada una de las 11 Regiones CalCOFI y al total (Regiones conjuntas) del Area de investigación CalCOFI durante 1975.	41
6	Larvas de pez de los 18 taxa más abundantes (incluyendo las identificaciones de las 10 especies más abundantes) en orden de abundancia, y su porcentaje de contribución al total del ictioplancton dentro de las regiones 7 y 11 CalCOFI, en 1975.	45
7	Estado de explotación de las principales pesquerías del Pacífico Central Oriental.	50
8	Métodos de colecta en campo y análisis de laboratorio utilizados para la determinación de parámetros fisicoquímicos.	59
9	Evaluación de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos en la zona de estudio de la C.T. Tijuana (junio-octubre 1988).	71

## No. Tabla

10	Diferenciación de las zonas de influencia y no influencia por el agua de descarga de la C.T. Tijuana, mediante pruebas de "t" entre los resultados fisicoquímicos de cada zona.	79
11	Distribución, Abundancia y Diversidad del Ictioplancton dentro* y fuera de la zona de influencia de la descarga térmica de la C.T.Tijuana, B.C. (junio-octubre 1988).	81
12	Coefficientes de correlación lineal (r) cruzada entre resultados fisicoquímicos y biológicos del muestreo de junio de 1988.	87
13	Coefficientes de correlación lineal (r) cruzada entre resultados fisicoquímicos y biológicos del muestreo de octubre de 1988.	87

**EVALUACION DEL IMPACTO PRODUCIDO SOBRE  
EL ICTIOPLANCTON MARINO POR LA OPERACION DE  
UNA CENTRAL TERMoeLECTRICA**

## RESUMEN

La Comisión Federal de Electricidad construye la Central Termoeléctrica Rosarito II, ampliación de la C.T. Tijuana existente en Rosarito, B.C. desde 1960. Cumpliendo con lo dispuesto en la legislación de protección ambiental y de obras públicas, CFE encomendó el "Estudio de protección al ambiente marino y a la Planta Termoeléctrica en Rosarito, B.C.N." al Instituto de Ingeniería (UNAM), siendo éste trabajo una parte de él.

El presente trabajo pretende caracterizar las modificaciones en la calidad del agua del cuerpo receptor por el agua de descarga de la C.T. Tijuana a partir de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados en el estudio global, valorar los efectos del acarreo a la C.T. y del agua de descarga sobre el ictioplancton de la zona y definir el posible efecto sobre las pesquerías, aves y mamíferos marinos del ecosistema.

Se establecieron 11 estaciones de muestreo considerando: batimetría y morfología litoral, obras de toma y descarga de la C.T., corrientes marinas litorales y simulaciones de CFE de

las plumas térmicas. Se hicieron campañas de muestreo en junio y octubre de 1988. Se evaluaron 12 parámetros fisicoquímicos y 2 bacteriológicos. Sólo en 7 estaciones se hicieron arrastres para ictioplancton, obteniéndose la diversidad de especies y el número de organismos por m<sup>3</sup> y por estación. A partir de los resultados fisicoquímicos se diferenciaron las zonas de influencia y no influencia con pruebas de "t", y se hicieron correlaciones para definir la influencia del agua de descarga sobre el ictioplancton. Se calculó el número de organismos eliminados por acarreo por año por los gastos actual y futuro de agua de mar por las C.T.'s.

La densidad ictioplanctónica aumentó hacia la costa, disminuyendo la diversidad de especies; hacia la costa predominaron los peces planos. Se estimaron eliminaciones de  $2.38 \times 10^9$  orgs/año (C.T. Tijuana) y  $3.58 \times 10^9$  orgs/año (C.T. Rosarito), las cuales fueron bajas (0.0063% - 0.0161%) respecto a las abundancias ictioplanctónicas de las regiones 7 y 11 establecidas y estudiadas por CalCOFI. Los efectos del agua de descarga sobre el medio marino fueron: incrementos en temperatura y DQO, y disminuciones en O<sub>2</sub>, pH, DCI, densidad y diversidad ictioplanctónica. Se calculó un área de influencia máxima promedio de 0.2 km<sup>2</sup>. Concentraciones descargadas de cloro de 0.16 - 0.35 mg/l pueden dañar a huevos y larvas muy tempranas de peces.

El impacto\* de las C.T.'s. sobre las poblaciones de peces se considera mínimo porque éstos tienen amplia distribución, y no

---

\* Impacto refiere al efecto adverso o benéfico que puede ejercer una obra o actividad humana en particular, sobre un ambiente dado y organismos relacionados, así como sobre poblaciones humanas.

se detectaron especies muy locales, amenazadas o en peligro de extinción. Se considera despreciable al daño directo sobre peces adultos, aves y mamíferos por su alta movilidad y capacidad de evitar condiciones desfavorables de alimento o ambientales.

El agua de descarga cumple con las normas ambientales vigentes, pero se propone se considere en la normatividad la eliminación del plancton por acarreo. Se recomienda se hagan más estudios de contaminación marina, y se considere para la evaluación de impacto ambiental por una C.T. a la alteración en los flujos de energía en el ecosistema por la biomasa que destruye; que se realicen bioensayos de temperatura y cloro con diferentes grupos de organismos y de diferentes etapas de desarrollo para aplicarlo en monitoreo ambiental, y que se determine la difusión del cloro en el medio marino con mayor frecuencia.

## 1. INTRODUCCION

Las etapas tempranas del ciclo de vida de los peces marinos son muy vulnerables ante diferentes factores, presentando altas tasas de mortalidad natural comparadas con el estado adulto (curva de sobrevivencia III de Deevey, 1947), por ello, toma importancia la variación adicional que pueda producirse sobre dichas tasas por la actividad humana, y que pueda afectar de manera significativa la magnitud del reclutamiento de pesquerías deportivas y comerciales (Laurence, 1975, en Rosales, 1986).

La mortalidad natural en las etapas tempranas de vida de los peces marinos se produce por causas bióticas y abióticas, mientras que la mortalidad inducida por causas humanas puede deberse a efectos de contaminación, explotación pesquera y destrucción del hábitat.

Como causas bióticas están la inanición, depredación, parasitismo y enfermedades, y como causas abióticas naturales se presentan las tormentas, corrientes, radiación ultravioleta, temperatura, salinidad, oxígeno y pH (Alvaríño, 1980, en Rosales, *op. cit.*).

La inanición y depredación como factores bióticos, son los que ocasionan el mayor porcentaje de mortalidad (hasta 95%) en las etapas larvarias de peces marinos (Hunter, 1984), mientras que la temperatura es el factor abiótico más importante que afecta la sobrevivencia y el crecimiento en tales estadíos (Laurence, 1975, en Rosales, 1986).

Esto último tiene gran importancia si se toma en cuenta que la temperatura es un factor limitante y regulador tanto de las tasas metabólicas como de la distribución ecológica de animales marinos ectotérmicos (Wiser, 1973, en Capuzzo, 1979), además de que la contaminación térmica aumenta debido a que se construyen cada vez más centrales termoeléctricas (C.T.) en zonas costeras, las cuales emplean grandes volúmenes de agua de mar para el enfriamiento de sus condensadores y la regresan con una mayor temperatura al cuerpo de agua receptor, pudiendo entonces volverse esta última un "factor de tensión" que actuando sinérgicamente con otros factores ambientales puede limitar la zona de tolerancia para animales marinos (Capuzzo, *op. cit.*).

El consumo de agua de mar para enfriamiento solo por plantas nucleoelectricas costeras estimado en Estados Unidos durante 1985 fue de  $2.65 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{día}$  (Goldman, 1979), mientras que para México se estima un consumo por C.T.'s costeras de  $6.74 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{día}$  para el año 2000 (comunicación personal Luis Treviño, Instituto de Ingeniería, UNAM).

Otra causa de alteración al medio marino es el uso de cloro como biocida para impedir la fijación de organismos con tipo de vida sésil (organismos incrustantes) tales como bacterias, larvas de mejillones, percebes, balanos, etc., que pueden dañar el sistema de enfriamiento de una C.T. taponando las

tuberías del condensador o las de conexión a la toma de agua, acelerando su corrosión y disminuyendo la eficiencia de condensación (Alderson, 1972, Capuzzo, 1977 y Goldman, 1979).

En los Estados Unidos por ejemplo, la cloración del agua se practica en más del 90% de las centrales termoeléctricas, representando una utilización de más de 100 000 toneladas anuales de cloro (Goldman, *op. cit.*). Afortunadamente en México la tendencia para el año 2000 es sustituir la aplicación de cloro por sistemas de retrolavado (choques térmicos para impedir la fijación de los organismos incrustantes).

A partir de lo anterior se discierne que una C.T. costera puede producir un impacto directo sobre el ecosistema marino, porque actúa como un "gran depredador artificial" (Coutant, 1971, en Hoss *et al.*, 1973) al eliminar una gran cantidad de organismos planctónicos diversos (fitoplancton y zooplancton) que son acarreados con el agua para enfriamiento y que son lo suficientemente pequeños como para atravesar las mallas ( $\approx 9.5$  mm) de protección del sistema (Hoss *et al.*, *op. cit.*), y por los efectos térmicos y químicos de la descarga de estas aguas hacia el cuerpo receptor (fig. 1).

Entonces, el impacto ambiental acuático se produce de 2 maneras:

- 1) Sobre los organismos acarreados, porque son expuestos a choque térmico, a concentraciones de cloro y a daños mecánicos tales como turbulencia por las bombas, cambios bruscos de presión, abrasión con las paredes de las tuberías y choques entre ellos, lo que puede provocar su muerte (ENP, 1976, en Rosales, 1986).

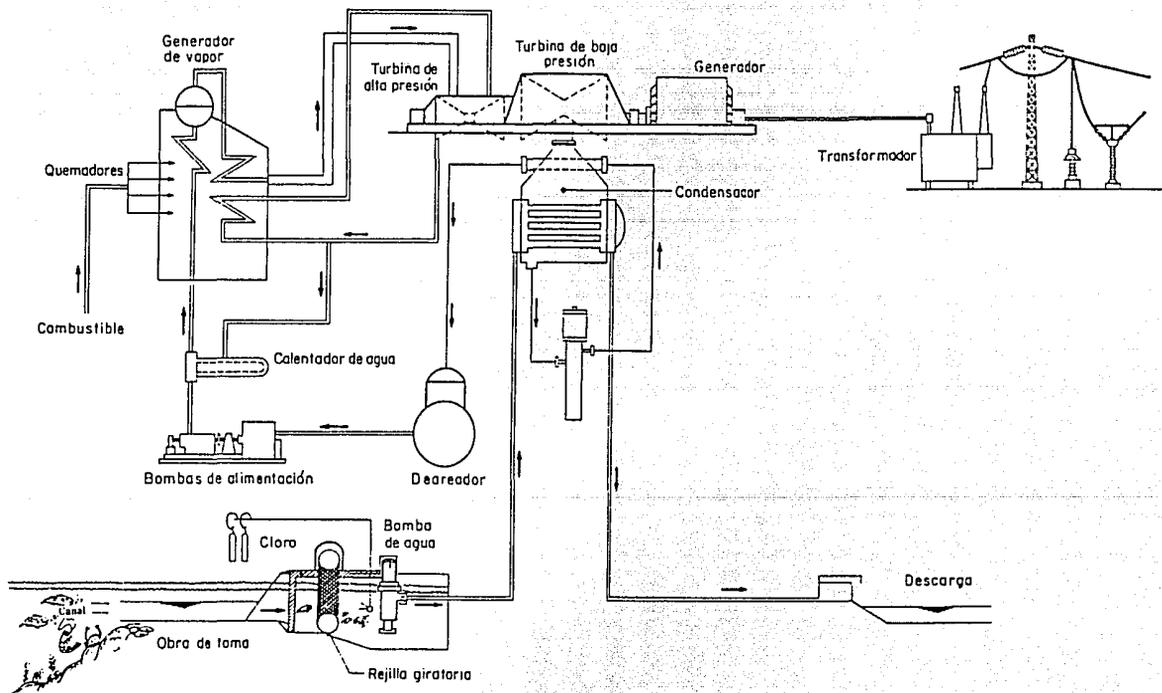


Fig. 1. Ciclo de operación de una C.T. con sistema de enfriamiento abierto

- 2) Sobre los organismos del cuerpo receptor, por el aumento de la temperatura y la presencia de cloro libre residual cuando el agua para enfriamiento es regresada al mar (Capuzzo, 1979 y Goldman, 1979), además de las alteraciones físicas y químicas que se pueden provocar en el mismo cuerpo receptor (variaciones de pH, oxígeno disuelto, turbulencia, etc.).

Ambos aspectos en suma producen la disminución de productividad principalmente en la zona influenciada por la toma y descarga del agua (Goldman, *op. cit.* y Rosales, *op. cit.*).

Las alteraciones que pueden sufrir huevos y larvas de peces por exposición a tensiones mecánicas, químicas y térmicas son de 2 tipos:

**Agudas:** Pérdida de la viabilidad de los huevecillos o disminución en el porcentaje de sobrevivencia de las larvas.

**Crónicas:** Daños morfológicos en el desarrollo embrionario o larvario, o cambios en la ingestión de alimentos, metabolismo y crecimiento en las larvas (Alderson, 1972 y Hoss *et al.*, 1973).

Generalmente el problema del acarreo es el más serio porque los organismos planctónicos (base de la trama trófica) son normalmente formas frágiles que experimentan los daños más severos durante la operación de estas centrales (Goldman, *op. cit.*), pero la descarga del agua de enfriamiento puede también provocar daños severos cuando se efectúa hacia cuerpos de agua semicerrados (lagunas costeras, estuarios, etc.).

Sin embargo, Goldman (1979) menciona que los organismos de los primeros niveles tróficos (fitoplancton y microzooplancton) muy probablemente no sean amenazados seriamente por la operación de una C.T., dado que solo una pequeña fracción de sus poblaciones naturales es acarreada y expuesta al cloro, al choque térmico y a daños mecánicos, además, porque los organismos sobrevivientes tienen periodos de generación relativamente cortos y una vez que regresan a su ambiente natural sin las condiciones desfavorables antes mencionadas, son capaces de renovar a sus poblaciones.

Rosales (1986) considera que los peces adultos por su gran movilidad pueden emigrar de zonas desfavorables (alta temperatura y concentración de cloro) o evitar el ser acarreados al sistema de enfriamiento de una central dada.

En contraste, los efectos de la operación de una C.T. sobre larvas de macrocrustáceos y peces pueden ser potencialmente dañinos, ya que tales larvas muestran considerable sensibilidad al cloro aún a concentraciones menores a 0.01 mg/l (Goldman, *op. cit.*) produciéndose reducciones en sus tasas metabólicas. Aún si estos organismos sobreviven al acarreo, sus subsecuentes oportunidades para sobrevivir en el agua receptora son disminuidas porque se vuelven más susceptibles a la depredación.

Muchas especies de animales marinos cuyas etapas larvianas muestran esta sensibilidad son importantes recursos pesqueros (langostas, ostiones, almejas, lenguados, etc.) que desovan intermitentemente en zonas costeras, pudiéndose considerar que si una porción significativa de las larvas y juveniles de estas especies fueran destruídas por acarreo al interior del sistema de enfriamiento se puede producir una reducción en la

abundancia de sus poblaciones de adultos (Goldman, 1979), sobretodo en aquellas situadas en la costa de pequeñas bahías o en lagunas y estuarios (Hoss et al., 1973 y Rosales, 1986).

Marcy en 1971 (en Hoss et al., *op. cit.*) encontró que ningún pez de las 9 especies con las que trabajó sobrevivía al paso a través de la Planta Nucleoeléctrica "Connecticut Yankee" cuando las temperaturas de descarga estaban sobre 30°C, y que el promedio de larvas de peces eliminadas por año era de 179 millones. Otros estudios han estimado mortalidades hasta de 164.5 millones de larvas por día\* (Edsall y Yocom, 1972, en Hoss et al., *op. cit.*).

Chávez en 1979 (en Rosales *op. cit.*) observó la mortalidad de peces hasta en 0.03 ppm de cloro y si esto se toma en cuenta para cuerpos de agua semicerrados puede volverse un problema serio de contaminación acuática (Larson et al., 1978, en Rosales *op. cit.*), produciéndose alteraciones a ecosistemas como áreas de crías (Hoss et al., *op. cit.* y Rosales, *op. cit.*) en donde los estadíos iniciales de peces pueden ser los más afectados por tener poca capacidad para sobrevivir a tensiones ambientales (Lasker et al., 1972, en Rosales *op. cit.*).

De acuerdo con lo anterior, es necesario conocer más los factores ambientales que afectan a la eclosión viable de huevos y sobrevivencia de larvas de peces y que en combinación

---

\* La variación en las mortalidades reportadas por Hoss et al (1973) pudo deberse básicamente por las características de las zonas involucradas, de si eran lagunas costeras o estuarios, etc., y por consiguiente, zonas de desove y reclutamiento de diversos organismos, y si eran épocas de desove.

de contaminantes pueden agravar su grado de mortalidad (Rosales, 1986).

Es importante mencionar que el impacto de una C.T. sobre el ecosistema marino dependerá de sus características de diseño y operación, de las características del cuerpo de agua involucrado y los tipos de organismos sometidos al acarreo y a la descarga, por lo que el análisis de impacto ambiental debe ser particular para cada sitio y central generadora de electricidad (Hoss *et al.*, 1973).

Es importante también señalar que en México, tanto la construcción como la operación de las centrales termoeléctricas costeras se lleva a cabo siguiendo las normas ambientales establecidas por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente\*, y estableciendo las medidas de mitigación pertinentes a los impactos ambientales detectados mediante estudios previos a la implementación de cada Central, ya que el principal interés es evitar la alteración potencial que una C.T. pueda ocasionar a la biota acuática y su hábitat, especialmente por el trastorno y/o rompimiento de la trama trófica, y cualquier afectación de tipo socioeconómica.

El presente trabajo de tesis formó parte del "Estudio de protección al ambiente marino y a la central termoeléctrica en Rosarito, B.C." (Treviño *et al.*, 1989), encomendado para su realización al Instituto de Ingeniería de la UNAM por la Comisión Federal de Electricidad.

---

\* La planeación y definición de la Iniciativa de Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente comenzó desde 1982 y fue puesta en vigencia en 1988.

Dadas las características prospectivas del estudio global realizado por Treviño *et al.* (1989), así como por las condiciones de la relativa estabilidad ambiental del sitio en cuestión, este trabajo se limita a evaluar las fluctuaciones ambientales máximas y mínimas en una zona restringida (área adyacente a la C.T. y al Poblado de Rosarito, B.C.) la cual se consideró como área más probable de influencia por el proyecto.

### 1.1 *Objetivos*

El objetivo general de este trabajo es: Evaluar el efecto producido sobre el ictioplancton marino por la operación de la Central Termoeléctrica Tijuana y pronosticar el respectivo efecto por la C.T. Rosarito II en Rosarito, B.C., teniendo como objetivos particulares:

- 1) A partir de los resultados fisicoquímicos y bacteriológicos del "Estudio de protección al ambiente marino y a la central termoeléctrica en Rosarito, B.C." realizado por Treviño *et al.*, en 1989, caracterizar las variaciones producidas en la calidad del agua del frente marino de la C.T. Tijuana por el agua de mar empleada para el enfriamiento de sus condensadores, comparando las zonas de influencia y no influencia por el agua de descarga, y aplicarlo para el análisis del efecto de dicha descarga sobre el ictioplancton de la región.
- 2) Consultar lo realizado sobre límites de tolerancia a temperatura y cloro para organismos de la zona.
- 3) Determinar el estado actual de la comunidad ictioplanctónica y pesquerías comerciales en la zona

aledaña a la C.T. Tijuana, en cuanto a su distribución, abundancia y diversidad.

- 4) Estimar el número de organismos ictioplanctónicos eliminados por año debido al acarreo de éstos a través del condensador de la C.T. Tijuana y hacer una valoración de dicha destrucción en proporción de la producción anual de larvas de peces de la región.
- 5) Definir el posible daño sobre las pesquerías de la zona y especies de aves y mamíferos marinos relacionados con éstas, por el funcionamiento de la C.T..
- 6) Determinar la repercusión de tipo socioeconómico sobre las pesquerías de la zona y de zonas aledañas dedicadas a dicha actividad.
- 7) Proponer medidas para eliminar o amortiguar los posibles efectos de la termoeléctrica sobre el ambiente marino, con especial atención al ictioplancton y especies relacionadas.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 Realización del proyecto

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) tiene en construcción 2 unidades generadoras de energía eléctrica de 160 Megawatts cada una (total 320 MW), de tipo convencional, las cuales se ubican cercanas a la población de Rosarito en el Estado de Baja California Norte. Estas unidades (C.T. Rosarito II) pueden considerarse como una ampliación de la Central Termoeléctrica Tijuana ya existente en el sitio desde 1960 (figs. 2 y 3).

La C.T. Rosarito II se localiza a una latitud de  $32^{\circ}22'$  N y  $117^{\circ}03'$  de longitud W, a 2 km al norte de la población de Rosarito y 19 km al sur de Tijuana, en el Estado de Baja California Norte, México.

La C.T. Rosarito II utilizará agua de mar para su sistema de enfriamiento (ciclo abierto) y los mismos canales de toma y descarga del agua de la C.T. Tijuana, así como combustóleo para la generación de vapor. Se considera que el proyecto entrará en operación comercial para fines de 1990.

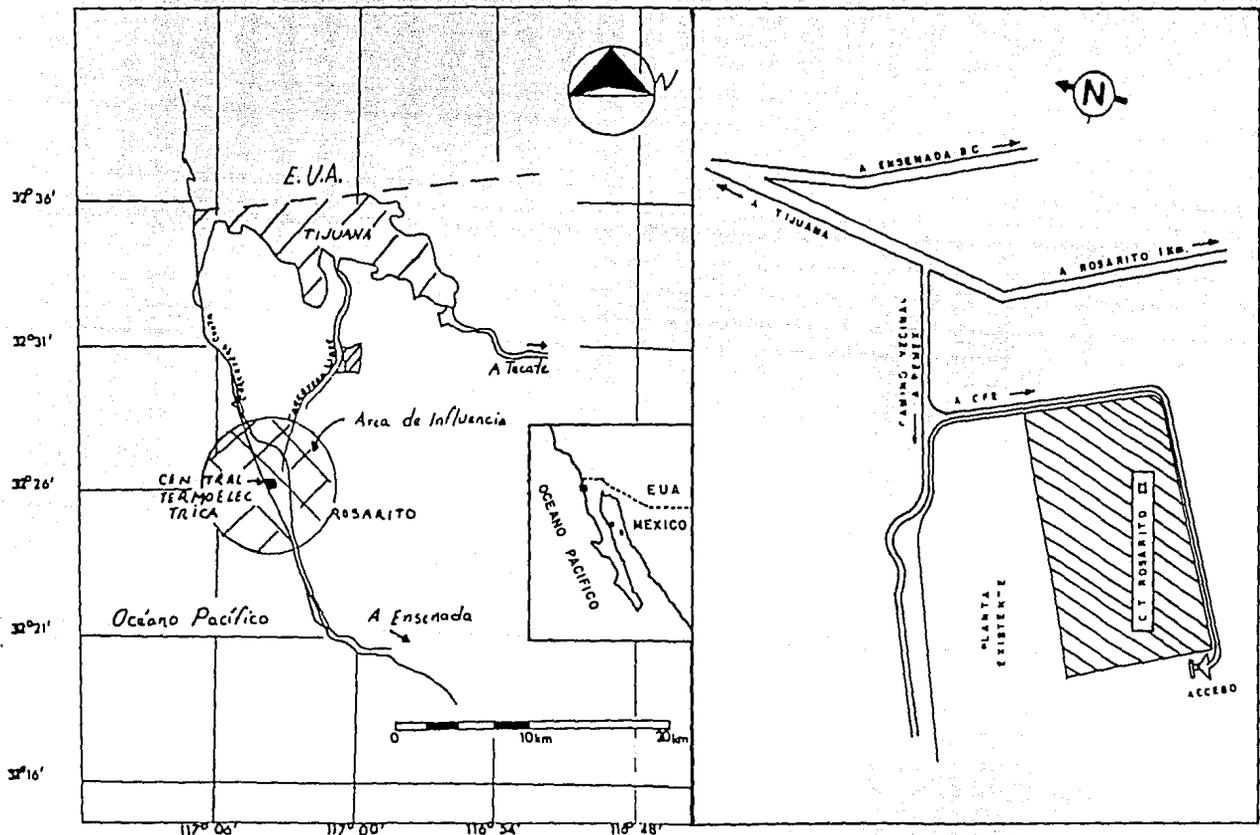


Fig 2. Ubicación de la C.T. Tijuana (Planta existente) y su ampliación, la C.T. Rosarito II en Rosarito, B.C.N. (CFE, 1987).

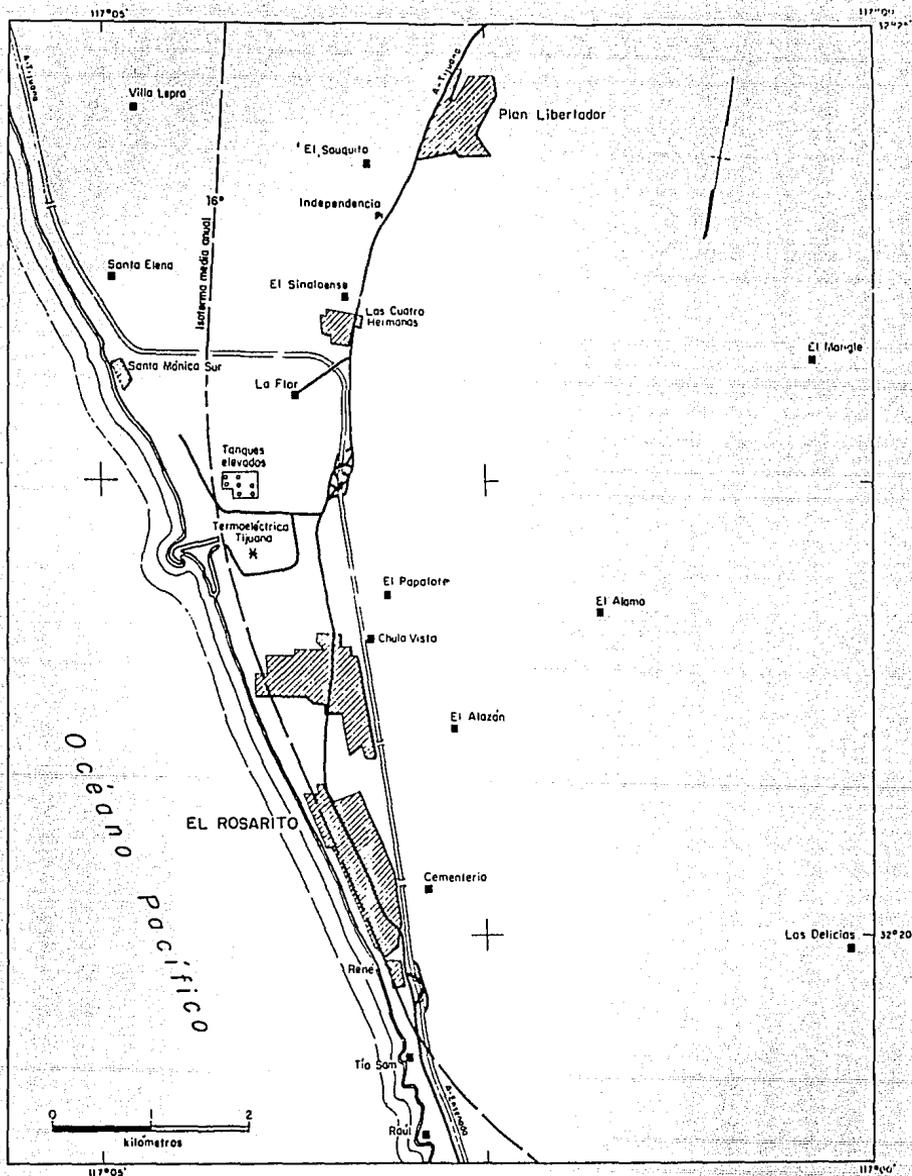


Fig. 3. Localización de la C.T. Tijuana ( $32^{\circ}18' N$ ,  $117^{\circ}02' W$ ) y del poblado de Rosarito, B.C.N.

Se estima que el área de influencia del proyecto comprenderá un radio de 10 km tomando en cuenta los aspectos atmosféricos, mientras que en el aspecto marino podría abarcar un área máxima de 0.5 km<sup>2</sup>, según lo establecen simulaciones matemáticas efectuadas por CFE (CFE, 1986, 1987), (Ver figura 23 en metodología).

Como en todo proyecto para desarrollo, a través del cual se pretende obtener satisfactores y mejoría en las condiciones de vida para la sociedad, las múltiples actividades que éste involucra deben generar efectos favorables en un ámbito socioeconómico, pero también pueden provocar efectos adversos sobre el ambiente natural, por ello, desde el punto de vista de protección ambiental, es necesario identificar aquellos aspectos y acciones del proyecto que puedan generar alteraciones ambientales durante su construcción y operación; en este sentido, uno de los aspectos del funcionamiento de las centrales Termoeléctricas que puede tener mayor repercusión ambiental es la toma y descarga del agua para enfriamiento del condensador, que en el caso de la C.T. Rosarito II será directa al mar, con un gasto máximo de 25 m<sup>3</sup>/s considerando la demanda de las unidades existentes (3 x 75 MW + 1 x 84 MW) y las futuras (2 x 160 MW), (Treviño et al., 1989).

Por lo anterior, CFE, en cumplimiento con lo dispuesto en la legislación de protección ambiental y de obras públicas, así como con los requerimientos específicos establecidos por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) determinó que se llevara a cabo un estudio de protección al ambiente marino, siendo este estudio una parte, y encomendando su realización a la Coordinación de Ambiental del Instituto de Ingeniería de la UNAM (II-UNAM).

## 2.2 Descripción del área de estudio

### 2.2.1 Caracterización ambiental

La influencia del sistema de la Corriente de California en las características particulares de la zona de estudio (frente de la C.T. Tijuana) es importante, pero existen además influencias locales por la presencia misma de la C.T. Tijuana y por desarrollos urbanos importantes como son Tijuana, San Diego, y en menor grado Rosarito, cuyos efectos principales son contaminación marina y deterioro de la costa.

La zona de estudio presenta condiciones climatológicas, morfológicas y oceanográficas que en conjunto y a nivel local tendrán influencia en las variaciones de las propiedades fisicoquímicas del agua, por ello, es necesario describirlas brevemente con el objeto de situar el establecimiento del proyecto (C.T. Rosarito II) en un escenario ambiental.

#### 2.2.1.1 Climatología

El tipo de clima correspondiente a la zona de estudio según la clasificación de Köppen modificado por García (1987) es BSk(s), definiéndose como seco templado ( $12-18^{\circ}\text{C}$ ), con temperatura media anual de  $16.3^{\circ}\text{C}$ , invierno húmedo (pp > 36 mm) y verano cálido, y extremoso con oscilación anual entre temperaturas promedio mensuales máxima y mínima de  $7.6^{\circ}\text{C}$ :  $20.9^{\circ}\text{C}$  en agosto y  $13.3^{\circ}\text{C}$  en enero respectivamente.

Las características climatológicas para la zona de estudio están resumidas en la Tabla 1.

Dadas tales condiciones climatológicas, tanto la evaporación

TABLA 1. PROMEDIOS MENSUALES Y ANUALES DE DIFERENTES FENOMENOS CLIMATICOS PARA LA ESTACION CLIMATOLOGICA "PLANTA DE BOMBEO ROSARITO".

ESTACION: PLANTA DE BOMBEO ROSARITO														
CLAVE DETENAL: 02-069														
ALTIITUD (snm): 22 m														
COORDENADAS: 32 18' N, 117 02' W														
TIPO DE CLIMA: BSkS (e)														
MES	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	x Anual (n.1)	Σ anual
Temperatura (°C)	13.3	13.6	19.9	14.5	15.9	17.0	18.9	20.9	19.8	17.9	16.0	13.9	16.3	
Precipitación (mm)	28.9	28.7	25.9	21.1	6.1	1.9	0.0	1.4	3.3	8.2	22.3	32.6		180.4
Hum. rel. (%)	68.8	67.4	77.3	76.8	80.0	82.7	85.9	85.9	86.2	74.3	72.4	74.9	77.7	
Mín.	0.0	3.0	13.0	17.0	56.0	3.0	67.0	67.0	53.0	8.0	11.0	10.0		
Máx.	97.0	97.0	98.0	97.0	96.0	99.0	99.0	98.0	94.0	95.0	95.0	100.0		
Días Nublados	4.8	4.8	7.6	5.2	3.0	0.6	2.0	0.75	2.8	3.8	8.6	8.8		52.75
Días Despejados	22.4	19.4	19.8	22.2	24.8	26.6	26.6	27.5	23.2	22.8	15.4	15.6		266.3
Nubosidad (n.2)	3.9	3.9	4.0	5.0	4.6	4.7	--	--	--	5.2	5.0	5.9		46.9
Insolación B (n.3)	265	343	428	464	443	510	547	499	446	361	284	245	380	
Vientos Dirección (n.1)	N,W	N,S,E	N,S,W	N,E	N,W,E	S,N,E,W	S,N	N,S	W,N	N,E,W	N,E	N,E,W	N,W,E,S	

TABLA 1. (CONTINUACION)

PROMEDIOS MENSUALES	MINIMA	M E S	MAXIMA	M E S
Temperatura (°C)	13.3	Enero	20.9	Agosto
Precipitación (mm)	0.0	Julio	32.6	Diciembre
Humedad Relativa (%)	0.0	Enero	100.0	Diciembre
Días Nublados	0.6	Junio	8.8	Diciembre
Días Despejados	15.4	Noviembre	27.5	Agosto
Nubosidad	3.9	Ene-Feb	5.9	Diciembre

Precipitación: Invernal: 50 %  
 Anual: Mínima: 74.7 mm (1968); Máxima: 232.9 mm (1969)  
 Máxima en 24 H: 28.5 mm

Presión atmosférica media anual: 762 mm Hg

Vientos: Velocidad: De 0.3 m/s - 3.3 m/s (de ventolina a brisa muy débil, escala de Beaufort; independientemente de la dirección y época del año).

Frecuencia de calmas: Primavera: 45 Verano: 70 Otoño: 64 Invierno: 101

TABLA 1. (CONTINUACION).

INTEMPERISMOS:

Frecuencia de: Nevadas: 0 días al año (1981-85) (SMN)  
Heladas: 0-20 días al año  
Granizadas: 0-2 días al año  
Huracanes: 0-3 por año entre junio y octubre (1975-85) (SMN)

NOTAS:

Hum. rel. - Humedad relativa

"--" - datos no disponibles

n.1 - En la dirección de vientos se enuncian en orden de predominancia y frecuencia.

n.2 - La unidad manejada es la relación de nubosidad en décimos de cielo cubierto a las 14 horas.

n.3 - Promedio de radiación total diaria en langleyes/día (1 ly/día = 1 cal/cm<sup>2</sup>.día) (Almanza y López, 1975).

Los valores promedio de temperatura y precipitación por mes corresponden al periodo 1967-1975 (Ayala, 1983a y b).

Los valores de Humedad relativa y Frecuencia de calmas son los promedios para el periodo 7/oct/80 - 28/feb/87. (Datos C.F.E., sitio Rosarito).

Los datos de Nubosidad, Insolación y Presión atmosférica media anual se obtuvieron del Atlas del Agua de la República Mexicana (SRH) correspondiente al periodo 1941-1970 (SRH, 1976).

Los valores de Días Nublados, Días Despejados, Dirección y Velocidad de Vientos, Frecuencia de Nevadas y Huracanes fueron obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional (S.M.N.).

La información restante fue obtenida de: SPP, 1981a y b, SPP, 1984 y Garcia, 1987).

como la precipitación son bajas, así como la transferencia de calor natural en la interfase agua-atmósfera; lo anterior propicia a su vez condiciones de relativa estabilidad en la temperatura y salinidad del agua de mar (Sverdrup *et al.*, 1970, y Treviño *et al.*, 1989).

La influencia de los vientos en la oxigenación superficial de las aguas y formación de surgencias es importante, pues de ellos dependerá en gran medida el reciclamiento de nutrientes (nitrógeno y fósforo) además de la generación de turbulencias hidrodinámicas locales (oleaje) que pueden contribuir eventualmente a propiciar un mezclado más eficiente de las capas superficiales del agua (Sverdrup *et al.*, *op. cit.*).

A nivel costero (de 1 a 20 m de profundidad) existirán otros factores que influyen sobre el comportamiento del cuerpo de agua, tal como la morfología litoral (Treviño *et al.*, *op. cit.*).

#### 2.2.1.2 Morfología litoral

La costa en la región se caracteriza por acantilados, playas de arena y playas de cantos rodados. Particularmente la zona de Rosarito corresponde a playa de arena, debido al alto nivel energético del oleaje, siendo su área de mayor o menor amplitud conforme a variaciones en la incidencia del oleaje y amplitudes de marea (Treviño *et al.*, *op. cit.*).

El frente marino de la C.T. Tijuana es una zona abierta en la que los efectos del oleaje, viento y clima son de gran importancia en la conformación fisiográfica local, siendo común observar dunas y vegetación esclerófila costera denominada comúnmente matorrales (SAHOP, 1980).

El lecho marino está formado por arena y presenta pendiente suave, por lo que su batimetría la constituyen curvas de nivel relativamente amplias, sobretodo entre los 8 y 20 m de profundidad (ver figura 22 en metodología).

Las estructuras rocosas son poco conspicuas por lo que la presencia de las escolleras del Canal de llamada y de descarga de la C.T. Tijuana resultan una modificación importante al entorno morfológico, teniendo además influencia directa en la dinámica y procesos litorales de la zona protegida, ya que provocan una inversión en los periodos de erosión-sedimentación motivando la necesidad de dragado casi continuo en la entrada del canal de toma (Peña y Ramírez, 1987) (figs. 4 y 5). Asimismo se observa que la configuración de las escolleras influye en el patrón de circulación litoral (Treviño *et al.*, 1989).

### 2.2.1.3 Oceanografía

El ambiente marino actual fuera de la zona de influencia de la descarga térmica, se caracteriza por ser un medio relativamente estable en sus aspectos físicos, químicos y biológicos, sin embargo, presenta variaciones estacionales que por su magnitud y significancia colocan a esta región como una de las de mayor importancia a nivel nacional desde el punto de vista ecológico y pesquero (Sverdrup *et al.*, 1970 y Treviño *et al.*, *op. cit.*).

La zona de estudio (figs. 2, 3), se ve influenciada por el sistema de la Corriente de California la cual forma parte de las corrientes Este del Pacífico Norte y se propaga entre las latitudes 48° y 23° N, desde las costas de las Islas Aleutianas hasta Cabo San Lucas (Gómez-Valdez y Vélez-Muñoz,

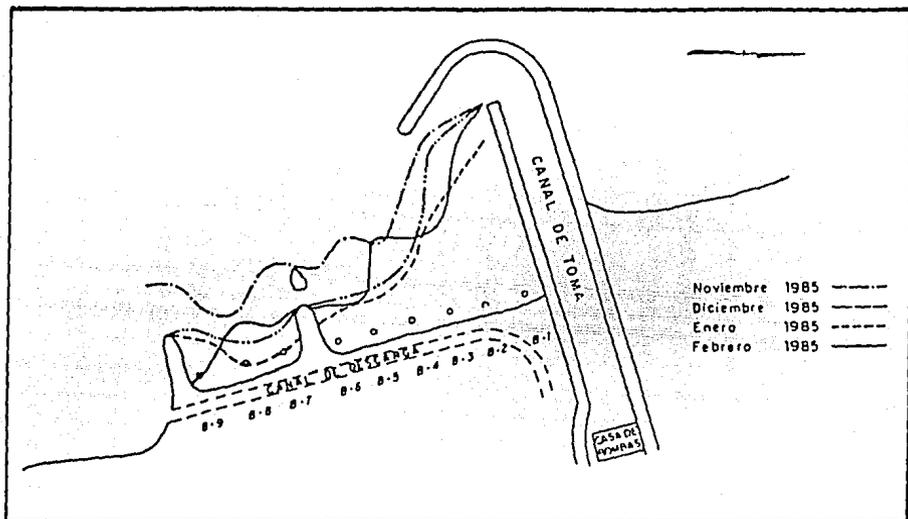


Fig 4. Variación de la cota cero (hay depósito debiendo haber erosión)

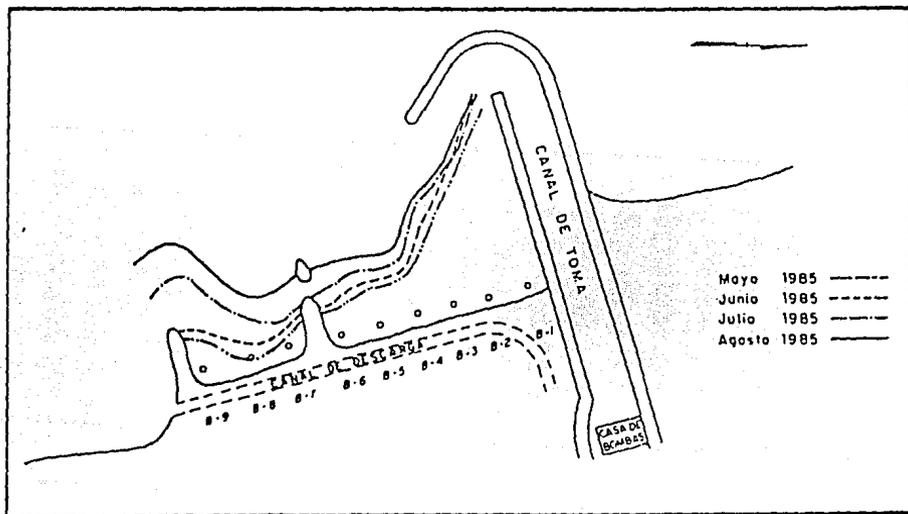


Fig 5. Variación de la cota cero (hay erosión debiendo haber depósito).  
Tomado de: Peña y Ramírez (1987)

1982).

La región de la Corriente de California constituye una zona de transición entre las masas de agua Ecuatorial y Subártica caracterizándose en su zona costera por baja salinidad ( $\approx 33.4$  ‰), baja temperatura ( $\approx 15.7^{\circ}\text{C}$ ), surgencias, contracorrientes subsuperficiales (10 - 200 m de profundidad) y remolinos, lo que ocasiona alteraciones estacionales en sus propiedades fisicoquímicas y biológicas a nivel local (Gómez-Valdez y Vélez-Muñoz, 1982).

Debido a la estrecha plataforma continental en la región de la Corriente de California las zonas costeras potenciales para crianza de peces son limitadas. Además, durante ciertas épocas los vientos dominantes causan el desplazamiento hacia el mar de las aguas superficiales, favoreciendo la dispersión fuera de la costa y la pérdida de las larvas (Parrish *et al.*, 1981).

Los 2 componentes del flujo oceánico superficial, causantes del transporte de las masas de agua son el Transporte superficial por viento o Transporte de Ekman, y el subyacente campo de la Corriente Geostrofica, asociada con la gravedad terrestre y gradientes de presión en el océano (Parrish *et al.*, *op. cit.*).

La dirección general del flujo geostrofico dentro de la Bahía del Sur de California\* y cerca de la costa al Sur de Punta Concepción tiende a ser paralelo a ésta durante todas las estaciones (Parrish *et al.*, *op. cit.*).

---

\* Desde Punta Concepción hasta Punta Eugenia, encontrándose en esta región la zona de estudio.

La mayoría del transporte de Ekman probablemente se presenta entre los 20 - 30 m superficiales.

La Bahía del Sur de California se muestra como un área de reducido transporte por viento hacia afuera de la costa, como lo es por todo el año (Parrish et al., 1981).

Donde el transporte superficial por viento está dirigido hacia afuera de la costa, el resultado es una pérdida neta de aguas superficiales cercanas a la costa (divergencia), ocasionando el ascenso de aguas entre 20 y 200 m de profundidad (surgencia), las cuales al aportar sales nutritivas al medio superficial (zona eufótica) lo enriquecerán incrementando la productividad primaria (Parrish et al., *op. cit.*).

La zona del límite costero está caracterizada por divergencia y surgencia costera.

Las condiciones favorables para las surgencias costeras se presentan todo el año en Baja California; la máxima intensidad se presenta durante primavera. Los efectos aparentes de las surgencias costeras son menos obvios en la Bahía del Sur de California que en las regiones al Norte o al Sur (Bakun et al., 1974 y Bakun y Nelson, 1977, ambas citas en Parrish et al., *op. cit.*).

Las áreas de convergencia superficial concentran material planctónico cerca de la superficie, favoreciendo la acumulación de material en frentes y parches. Las áreas de divergencia superficial favorecen la dispersión de los organismos planctónicos y la difusión de las estructuras en parches (Parrish et al., *op. cit.*).

Como en la Bahía del Sur de California el transporte de Ekman es mínimo hacia afuera de la costa, la dispersión hacia el mar de los productos reproductivos parece estar minimizada (Parrish et al., 1981).

Los peces pelágicos dominantes de la Corriente de California y que constituyen las grandes pesquerías desovan en esta región. La sardina (*Sardinops sagax caerulea*), merluza (*Merluccius productus*), jurel (*Trachurus symmetricus*), y en menor grado la macarela del Pacífico (*Scomber japonicus*) y el Bonito (*Sarda chiliensis*), migran a la región de máxima surgencia\* y a la del Pacífico Noreste\*\* para alimentarse (Parrish et al., op. cit.).

La Bahía del Sur de California difiere de las regiones al Norte en que las densidades del zooplancton son menores (Smith, 1978 en Parrish et al., op. cit.).

Respecto al patrón de circulación litoral circundante a la C.T., se observa que la configuración de la obra de toma provoca corrientes con sentido de desplazamiento independiente a la propagación del oleaje, siendo este desplazamiento principalmente hacia el Norte al interior de la zona protegida, según las observaciones realizadas de julio a noviembre de 1985 y de enero a abril de 1986 por Peña y Ramírez (1987), (Figs. 6 a la 13).

Por otro lado, las incidencias predominantes del oleaje son del SW y W, con alturas de ola desde 0.51 hasta 2.0 m y

---

\* Desde Cabo Blanco hasta Punta Concepción.

\*\* Desde isla Vancouver hasta Cabo Blanco

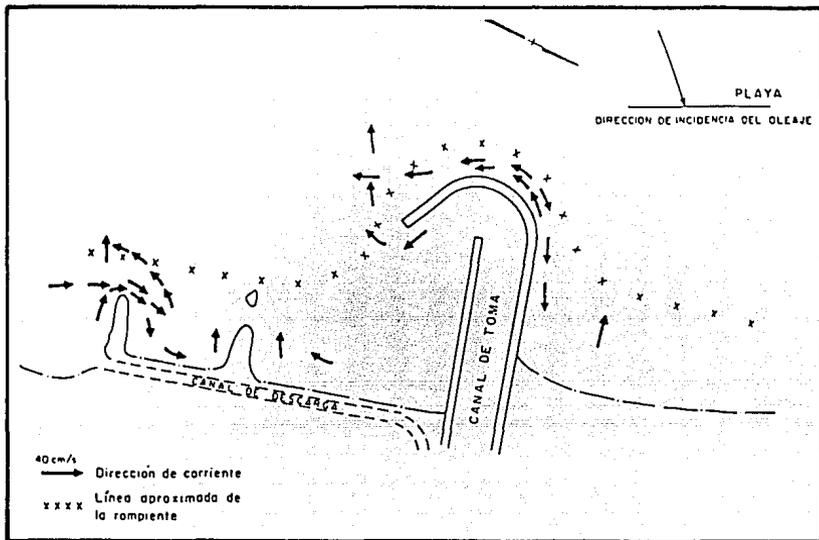


Fig. 6. Corrientes litorales adyacentes a las obras de toma y descarga de la C.T. Tijuana (julio y agosto 1985).

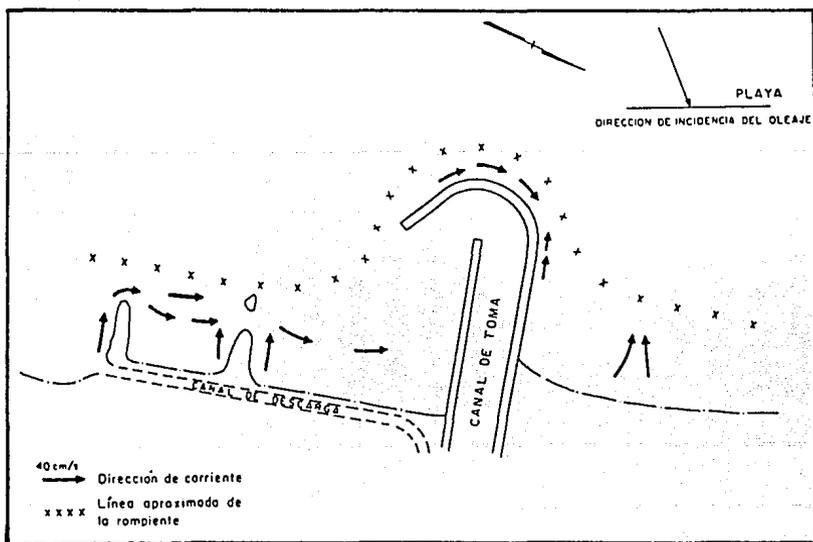


Fig. 7. Corrientes litorales adyacentes a las obras de toma y descarga de la C.T. Tijuana (septiembre 1985).

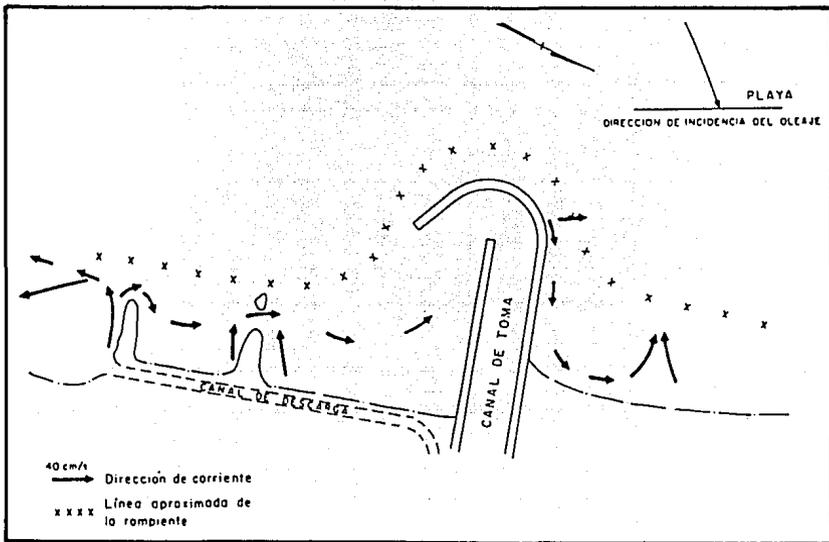


Fig. 8. Corrientes litorales adyacentes a las obras de toma y descarga de la C.T. Tijuana (octubre 1985).

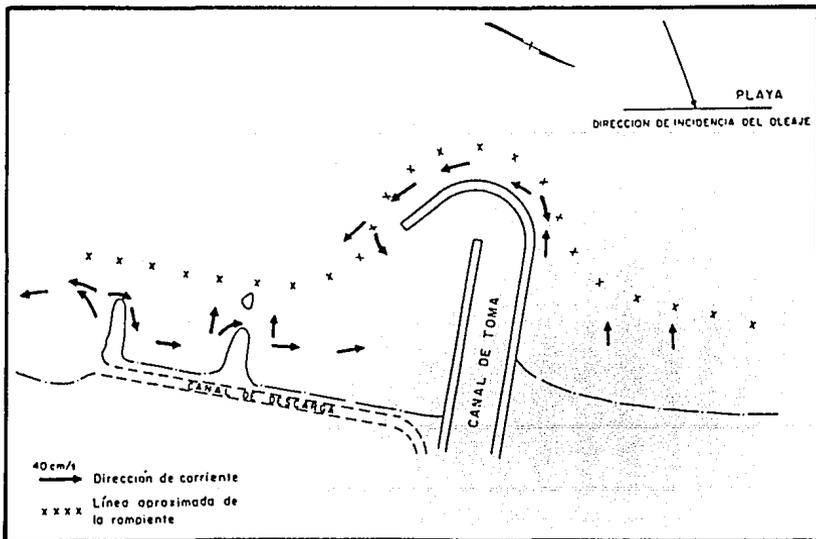


Fig. 9. Corrientes litorales adyacentes a las obras de toma y descarga de la C.T. Tijuana (noviembre 1985).

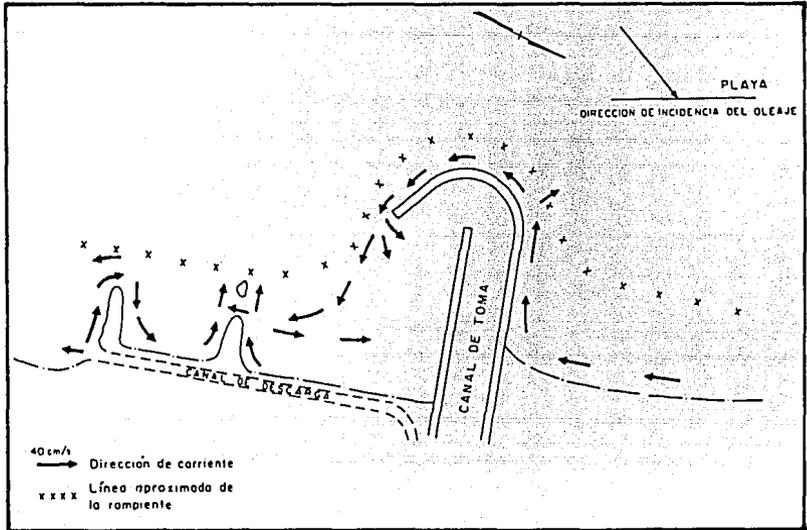


Fig. 10. Corrientes litorales adyacentes a las obras de toma y descarga de la C.T. Tijuana (enero 1986).

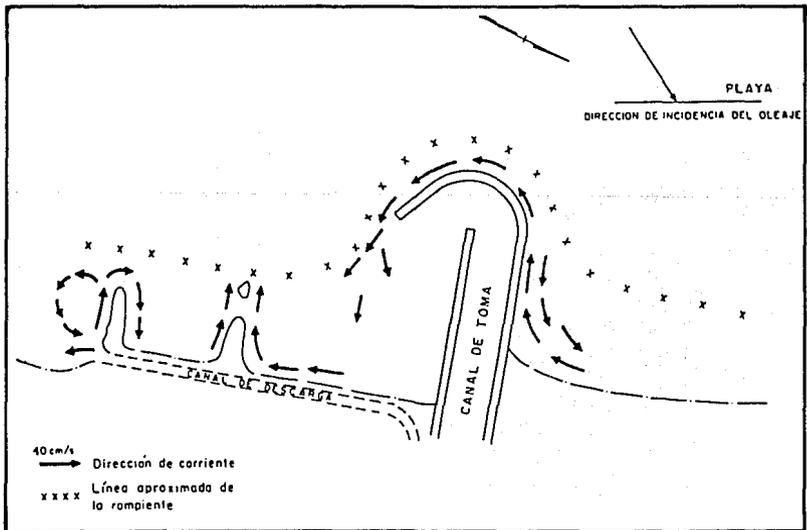


Fig. 11. Corrientes litorales adyacentes a las obras de toma y descarga de la C.T. Tijuana (febrero 1986).

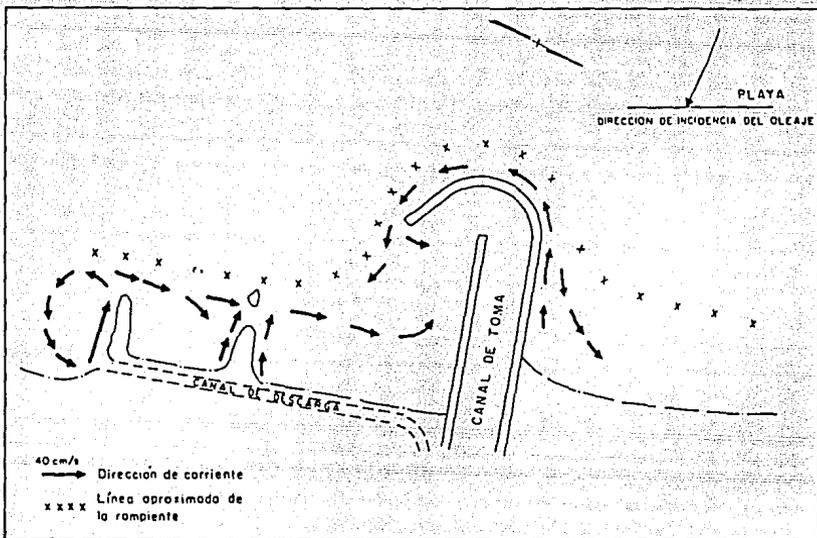


Fig. 12. Corrientes litorales adyacentes a las obras de toma y descarga de la C.T. Tijuana (marzo 1986).

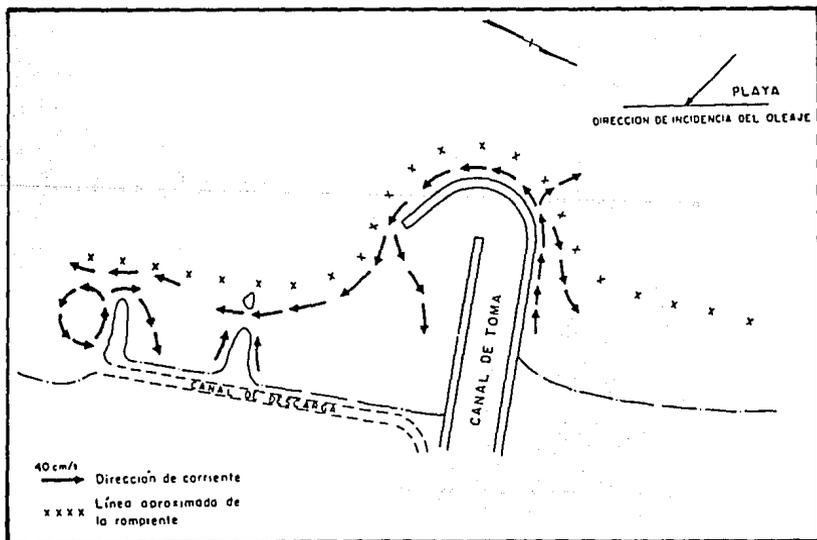


Fig. 13. Corrientes litorales adyacentes a las obras de toma y descarga de la C.T. Tijuana (abril 1986).

periodos de 10.1 a 16 segundos. La probabilidad de ocurrencia para cada dirección es de 50 y 39% respectivamente, figuras 14 y 15 (Peña y Ramírez, 1987).

Con base en lo anterior se ha establecido que los efectos combinados de la toma de agua para enfriamiento por la C.T., la morfología costera (batimetría y efecto de escollera) y los procesos litorales (oleaje, corrientes, transporte de sedimento) producen un transporte en masa del agua de mar hacia el interior del canal de llamada de la C.T. Tijuana, motivando entre otras cosas la recirculación del agua de descarga y la depositación de materia orgánica en los sedimentos asolvados en su entrada. Dicho efecto combinado tendrá desde luego repercusiones en las propiedades fisicoquímicas del agua adyacente a la C.T., provocando que la temperatura se mantenga siempre por arriba de la media natural del cuerpo de agua involucrado, la salinidad pudiera incrementarse por procesos de evaporación, y puede disminuir el oxígeno disuelto por demanda química o bioquímica (Treviño et al., 1989).

Algunos parámetros fisicoquímicos importantes que pueden considerarse como una referencia regional de las características del agua, dada su cercanía a la zona de estudio y la similitud de condiciones ambientales (clima, aporte pluvial y arrastre terrígeno entre otras), se resumen en la Tabla 1 (Anexo II).

De manera específica, los registros de la temperatura del agua realizados en el frente marino de la C.T. Tijuana durante 1985 por CFE (1986) y 1986 por Peña y Ramírez (1987) se consideran como referencia de la temperatura natural del agua a nivel local (Tabla 2).

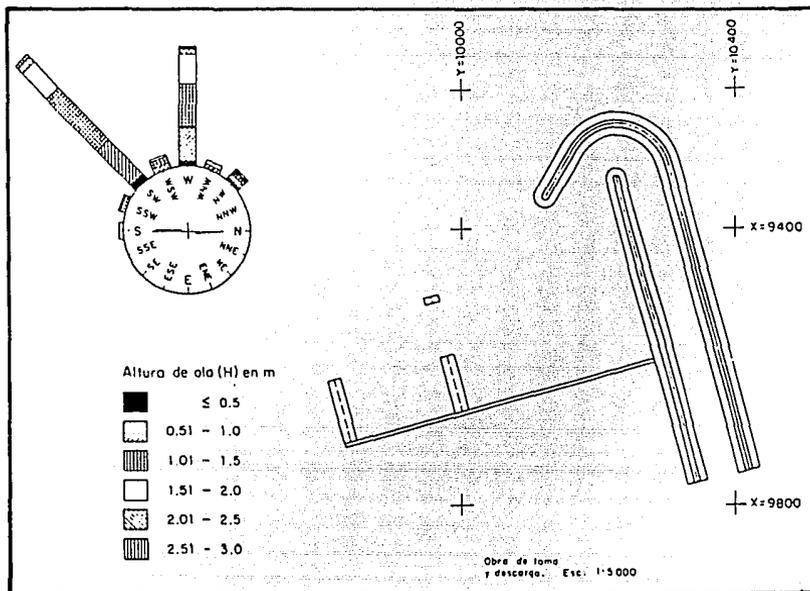


Fig 14. Rosa de alturas de ola

Tomado de: Peña y Ramírez (1987)

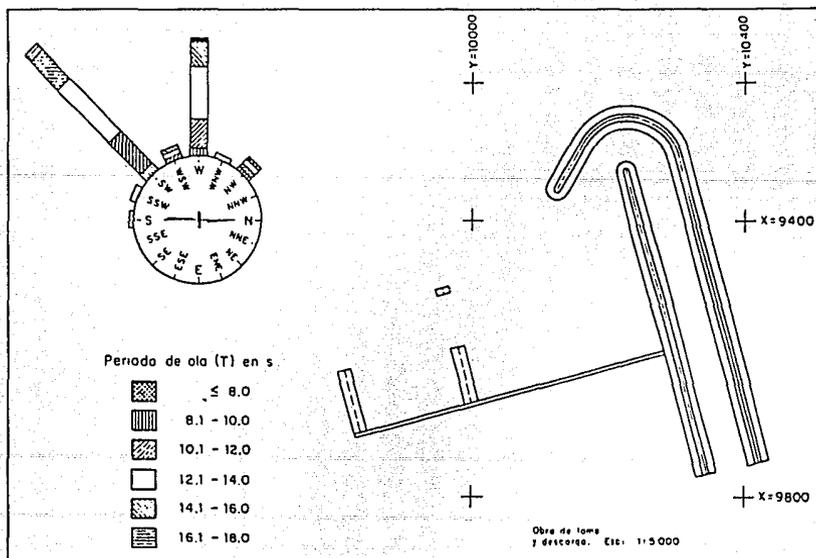


Fig 15. Rosa de periodos de ola

Tomado de: Peña y Ramírez (1987)

TABLA 2. TEMPERATURA MEDIA MENSUAL DEL AGUA MEDIDA CON EQUIPO AUTONOMO (CFE, 1986 y Peña y Ramírez, 1987).

M E S	TEMPERATURA MEDIA DEL AGUA (°C)
FEBRERO, 1985	14.1
MARZO	12.8
ABRIL	12.3*
MAYO	13.8
JUNIO	13.3
JULIO	15.9
AGOSTO	15.6
SEPTIEMBRE	16.4**
OCTUBRE	16.1
NOVIEMBRE	15.4
DICIEMBRE	14.6
ENERO, 1986	14.2
PROMEDIO:	14.5°C

\* Temperatura media mensual mínima

\*\* Temperatura media mensual máxima

La temperatura del agua costera se presenta alta durante verano y otoño (18°C) y baja durante invierno y primavera (15°C), sin denotar fluctuaciones marcadas al cambio de cada estación (Gómez-Valdez y Vélez-Muñoz, 1982).

Asimismo, las fluctuaciones de salinidad son prácticamente despreciables; sus valores son altos en otoño ( $\approx 34.0\text{‰}$ ) y bajos en primavera ( $\approx 33.5\text{‰}$ ), (Gómez-Valdez y Vélez-Muñoz, *op. cit.*).

Respecto al uso del cloro como biocida en la C.T. Tijuana por la Superintendencia de Operación, según la Tabla 3 se observa que durante 1987 su dosificación promedio mensual fue de 3750 kg de Hipoclorito de Sodio ( $\text{NaOCl}$ ) para un periodo de 122 hrs. Como se observa en la misma Tabla, la dosificación corresponde a 4 horas por día aproximadamente.

Empleando los promedios antes mencionados se obtiene lo siguiente:

$$\frac{3\,750\text{ kg (NaOCl)}}{122\text{ h}} \times \frac{10^6\text{ mg}}{1\text{ kg}} \times \frac{1\text{ h}}{3\,600\text{ seg}} = \frac{3\,750 \times 10^6\text{ mg (NaOCl)}}{439\,200\text{ seg}} =$$

$$8\,538.25\text{ mg (NaOCl)/seg}$$

Gasto de agua para enfriamiento:  $16.65\text{ m}^3/\text{seg} = 16\,650\text{ l/seg}$

$$\frac{8\,538.25\text{ mg (NaOCl)/seg}}{16\,650\text{ l/seg}} = 0.513\text{ mg/l de NaOCl}$$

donde 0.513 mg/l corresponde a la concentración inicial de hipoclorito de sodio que se aplica al agua en la entrada del cárcamo de bombeo.

TABLA 3. REGISTROS DE CLORACION EN LA C.T. TIJUANA DURANTE 1987

M E S	DOSIFICACION DE CLORO (kg de $NaOCl$ )	TIEMPO DE DOSIFICACION (hrs)
ENERO	3676	120
FEBRERO	3500	120
MARZO	3775	120
ABRIL	2721	120
MAYO	4034	96
JUNIO	6347	144
JULIO	3650	144
AGOSTO	4450	144
SEPTIEMBRE	3500	144
OCTUBRE	2742	120
NOVIEMBRE	3241	96
DICIEMBRE	3366	96
TOTAL	45002	1464
PROMEDIO MENSUAL	3750	122

FUENTE: Superintendencia de Operación de la C.T. Tijuana

Sin embargo, pruebas realizadas con muestras de agua del canal de toma para establecer la demanda de cloro (DCI) por materia orgánica e inorgánica en ésta, determinaron que esta demanda fue de 1.8 mg/l para una dosificación de 5 mg/l durante 180 minutos de contacto, es decir, un consumo del 35% hasta alcanzar el punto de rompimiento (Fig. 16); lo anterior significa que para una dosificación de 0.53 mg/l de cloro y durante dicho tiempo se dispondrá de 0.333 mg/l de cloro libre residual (CILR) como concentración efectiva en el agua de toma para el control de organismos incrustantes, obtenido probablemente durante menor tiempo de contacto si se considera la agitación del agua por su desplazamiento a través del condensador de la C.T.

## 2.2.2 Caracterización biológica

### 2.2.2.1 Distribución espacial y temporal del ictioplancton dentro de la Corriente de California

Para el área de la Corriente de California que investigan los cruceros de CalCOFI (Ahlstrom, 1968 y Loeb *et al.*, 1983), las especies de peces que constituyen al ictioplancton se dividen según la distribución de los adultos y la abundancia de sus desoves en:

- a) Pelágicas neríticas (principalmente).- Predominan en abundancia ( $\approx$  80% del total) y comprenden especies de importancia comercial como: anchoveta, merluza, sardina, jurel, macarela del Pacífico, etc.
- b) Mesopelágicas.- Comprendidas principalmente por las familias: Myctophidae, Bathylagidae y Gonostomatidae.

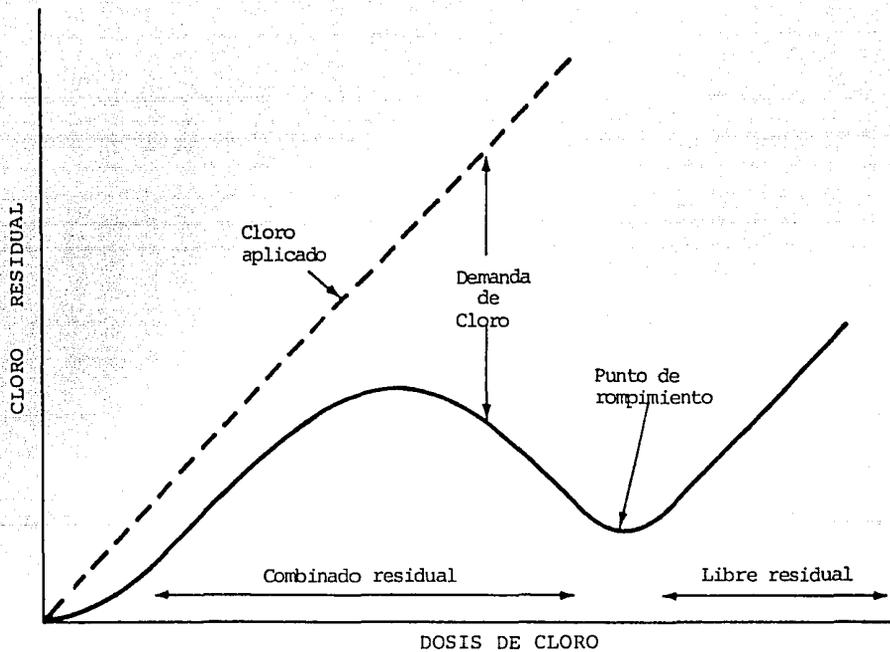


Fig 16. Curva de cloro residual para el punto de rompimiento de la cloración (Tomado de Warren y Hammer, 1985).

- c) Demersales.- Comprendidas principalmente por "peces de piedras" (*Sebastes* spp.), peces planos (Pleuronectiformes) y "otros" por consideraciones de variaciones regionales y de abundancia por época del año.
- d) Oceánicas epipelágicas.- Incluidas especies como atunes, marlines, peces vela, peces voladores, etc.

En la Tabla 4 se muestra la composición y abundancia relativa de las especies más abundantes del ictioplancton en toda la Corriente de California durante los años 1955-58 y 1975 reportados por Ahlstrom (1968) y Loeb et al. (1983) respectivamente. Se observa que el total de larvas capturadas está constituido por 75.5% de larvas de especies pelágicas comerciales tales como: anchoveta (*Engraulis mordax*: 58.9%), merluza del Pacífico (*Merluccius productus*: 14.5%) y jurel (*Trachurus symmetricus*: 2%).

Las larvas de especies mesopelágicas (89 categorías taxonómicas) constituyen 16.7% del total de larvas (TL), de las cuales 9 especies constituyen 2/3 de esta fracción (12.1% TL); estas 9 especies incluyen un gonostomátido (*Vinciguerria luctia*), 3 de la familia Bathylagidae (*Leuroglossus stilbius*, *Bathylagus wesethi* y *B. ochotensis*) y 5 de la familia Myctophidae (*Triphoturus mexicanus*, *Stenobranchius leucopsarus*, *Protomyctophum crockeri*, *Diogenichthys laternatus* y *Tarletonbeania crenularis*), (Loeb et al., op. cit.).

Las larvas de las especies demersales (92 taxa) constituyen sólo el 7% del total, y las que predominan de éstas son: lenguados (Pleuronectiformes: 3.4% TL), peces de piedras (*Sebastes* spp.: 3.1% TL), y roncós (*Sciaenidae*: 0.5% TL), (Loeb et al., op. cit.).

TABLA 4. COMPARACION DE ABUNDANCIAS RELATIVAS DE LARVAS DE PECES CAPTURADAS DURANTE 1975 CON LAS CAPTURADAS DURANTE EL PERIODO 1955-58 POR LAS INVESTIGACIONES ANUALES CALCOFI. (Ahlstrom, 1968 y Loeb et al., 1983).

Nombre común	A N O	1975		1955		1956	
	Nombre Científico	%	R**	%	R*	%	R*
Anchoveta Norteña	<i>Engraulis mordax</i>	58.92	1	39.03	1	33.05	1
Merluza del Pacífico	<i>Merluccius productus</i>	14.46	2	16.73	2	23.10	2
Rocote	<i>Sebastes</i> spp	3.12	3	8.17	3	7.14	3
Lenguado	<i>Citharichthys</i> spp	2.79	5	5.68	4	5.79	4
Lenguado	<i>Leuroglossus stilbius</i>	1.46	8	4.21	5	4.56	5
Sardina	<i>Sardinops caerulea</i>	0.13	26	3.93	6	3.80	6
Jurel, macarela	<i>Trachurus symmetricus</i>	2.03	7	3.69	7	1.97	10
Pez linterna	<i>Tripoturus mexicanus</i>	2.84	4	3.67	8	2.65	8
P. linterna	<i>Vinciguerria lucetia</i>	2.17	6	3.52	9	2.41	9
P. linterna	<i>Stenobranchius leucopsarus</i>	1.40	9	2.08	10	3.71	7
P. linterna	<i>Diogenichthys laternatus</i>	0.77	13	1.33	11	0.77	13
Lenguado	<i>Bathylagus vesethi</i>	1.05	10	0.90	12	0.52	17
P. linterna	<i>Lampanyctus ritteri</i>	0.40	19	0.55	13	0.47	18
Macarela del Pacífico	<i>Scomber japonicus</i>	0.005	-	0.54	14	0.37	20
P. linterna	<i>Protoxyctophum crockeri</i>	0.78	12	0.51	15	0.45	19
Lengua delgada de California	<i>Bathylagus ochotensis</i>	0.98	11	0.36	18	0.55	15
Pez de escamas grandes	<i>Melanphaes</i> spp	0.24	22	0.22	25	0.26	24
P. linterna	<i>Cyclotone</i> spp	0.63	14	0.43	16	0.20	-
P. linterna azul	<i>Tarletonbeania crenularis</i>	0.61	15	0.28	21	0.82	12
Argentina del Pacífico	<i>Argentina sialis</i>	0.05	-	0.23	24	0.32	22
Petirrojo marino	<i>Prionotus</i> spp	0.006	-	-	-	0.60	14
Pez lagartija de California	<i>Synodus</i> spp	0.03	-	0.18	-	0.23	25
Lenguado	<i>Pleuronichthys</i> spp	0.06	-	0.29	19	0.27	23
Pez de cabeza luminosa de California	<i>Diaphys theta</i>	0.11	29	0.28	20	0.87	11
Corvina	<i>Sciaenidae</i>	0.53	16	0.24	23	0.02	-
P. lengua de California	<i>Symphurus</i> spp	0.05	-	0.02	-	0.34	21
P. linterna diente de perro	<i>Ceratoscopelus towsendi</i>	0.13	26	0.12	-	0.05	-
P. linterna	<i>Symbolophorus californiense</i>	0.29	20	0.18	-	0.11	-
Pez medusa	<i>Icichthys lockingtoni</i>	0.09	30	0.39	17	0.22	-
P. de ojo pequeño y cola cuadrada	<i>Tetragonurus</i> spp	0.03	-	0.14	-	0.53	16
Lenguado diente de flecha	<i>Stomias</i> spp	0.13	26	0.11	-	0.02	-
P. linterna	<i>Hygophum</i> spp	0.03	-	0.11	-	0.05	-
	<i>Diogenichthys atlanticus</i>						
	Otras larvas	3.14		1.42		3.41	

R Rango

\* Rangos para las primeras 25 especies más abundantes

\*\* Rangos para las primeras 30 especies más abundantes

Los datos de 1955-58, están basados sobre números totales de larvas capturadas (cruceros totales) por año. (Ahlstrom, 1968).

Los datos de 1975, están basados sobre abundancias regionales sumadas (abundancias promedio corregidas por área) de 6 cruceros. (Loeb et al., 1983).

Los nombres comunes fueron consultados en Bailey et al. (1970).

Nombre común	A N O Nombre Científico	1957		1958	
		%	R*	%	R*
Anchoveta Nortaña	<i>Engraulis mordax</i>	29.70	1	45.21	1
Merluza del Pacífico	<i>Merluccius productus</i>	15.86	2	12.84	2
Rocote	<i>Sebastes</i> spp	7.39	4	5.27	4
Lenguado	<i>Citharichthys</i> spp	3.20	9	1.46	11
Lenguado	<i>Leuroglossus stilbius</i>	5.98	5	1.07	12
Sardina	<i>Sardinops caerulea</i>	1.99	11	2.51	7
Jurel, macarela	<i>Trachurus symmetricus</i>	4.05	6	1.41	10
Pez linterna	<i>Triphoturus mexicanus</i>	3.28	8	3.63	5
P. linterna	<i>Vinciguerria lucetia</i>	11.17	3	12.27	3
P. linterna	<i>Stenobranchius leucopsarus</i>	3.70	7	2.62	6
P. linterna	<i>Diogenichthys laternatus</i>	2.35	10	1.55	8
Lenguado	<i>Bathylagus wesethi</i>	1.29	12	1.54	9
P. linterna	<i>Lampanyctus ritteri</i>	0.56	14	0.68	13
Macarela del Pacífico	<i>Scomber japonicus</i>	0.38	18	0.28	20
P. linterna	<i>Protoxyctophum crockeri</i>	0.29	22	0.39	15
Lengua delgada de California	<i>Bathylagus ochotensis</i>	0.22	25	0.34	16
Pez de escamas grandes	<i>Melamphaes</i> spp	0.27	24	0.28	21
P. linterna	<i>Cyclotone</i> spp	0.58	13	0.62	14
P. linterna azul	<i>Tarletonbeania crenularis</i>	0.32	21	0.12	-
Argentina del Pacífico	<i>Argentina sialis</i>	0.28	23	0.06	-
Petirrojo marino	<i>Prionotus</i> spp	0.55	15	0.29	19
Pez lagartija de California	<i>Synodus</i> spp	0.47	17	0.27	23
Lenguado	<i>Pleuronichthys</i> spp	0.12	-	0.04	-
Pez de cabeza luminosa de California	<i>Diaphys theta</i>	0.14	-	0.13	-
Corvina	<i>Sciaenidae</i>	0.06	-	0.30	18
P. lengua de California	<i>Symphurus</i> spp	0.32	20	0.05	-
P. linterna diente de perro	<i>Ceratoscopelus towsendi</i>	0.53	16	0.31	17
P. linterna	<i>Symbolophorus californiense</i>	0.33	19	0.27	22
Pez medusa	<i>Icichthys lockingtoni</i>	0.16	-	0.10	-
Pámpano del Pacífico	<i>Peprilus simillimus</i>	0.16	-	0.02	-
P. de ojo pequeño y cola cuadrada	<i>Tetragonurus</i> spp	0.14	-	0.01	-
Lenguado diente de flecha	<i>Stomias</i> spp	0.05	-	0.26	24
P. linterna	<i>Hygophum</i> spp	0.16	-	0.22	25
	<i>Diogenichthys atlanticus</i>				
	Otras larvas	4.10		3.58	

R Rango

\* Rangos para las primeras 25 especies más abundantes  
 Los datos de 1955-58, están basados sobre números totales de larvas capturadas (cruceros totales) por año. (Ahlstrom, 1968).  
 Los datos de 1975, están basados sobre abundancias regionales sumadas (abundancia promedio corregidas por área) de 6 cruceros. (Loeb et al., 1983).  
 Los nombres comunes fueron consultados en Bailey et al. (1970).

### Diferencias geográficas en composición de especies

Según la regionalización de la Corriente de California establecida por CalCOFI (California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations), Loeb et al. (1983) menciona que en el año de 1975 la diferencia más grande en la distribución geográfica del ictioplancton en relación a la latitud, fue la dominancia de especies pelágicas al Sur de Punta Concepción (36.1-91.94% de totales regionales) contra su relativamente baja abundancia a nivel del centro de California ( $\leq 5\%$ ), (fig. 17, Tabla 5). Esta dominancia fue principalmente por anchoveta y merluza y después por jurel. Sin embargo, la sardina y la macarela fueron comparativamente raras ( $< 2\%$  de las especies pelágicas en cada región), capturándose en pocas regiones de Baja California.

Al aumentar la distancia de la costa hacia mar abierto, las abundancias y proporciones relativas de especies pelágicas y demersales disminuyen, en tanto que las formas mesopelágicas y oceánicas aumentan (Loeb et al., *op. cit.*).

Respecto a las especies pelágicas, las proporciones relativas de larvas de anchoveta generalmente disminuyen de la costa hacia mar abierto, mientras que las de merluza y jurel aumentan (Loeb et al., *op. cit.*).

Las especies que más evidencian diferencias en su distribución geográfica son las mesopelágicas y las demersales. Entre las demersales la abundancia de peces de rocas disminuye de Norte a Sur, mientras que la de peces planos se incrementa, disminuyendo ambos hacia mar abierto (Loeb et al., *op. cit.*).

Como especies no pelágicas neríticas (NPN) los peces de rocas

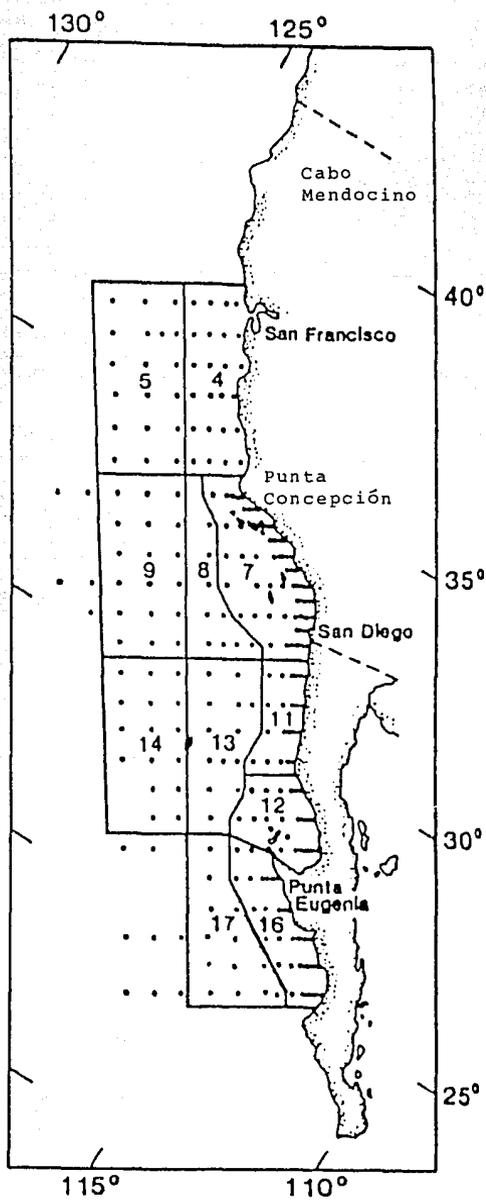


Fig. 17. Areas y Regiones CalCOFI. (Tomado de Loeb *et al*, 1983)

TABLA 5. PORCENTAJE DE CONTRIBUCION DE LAS CATEGORIAS TAXONOMICAS MAYORES AL TOTAL DEL ICTIOPLANCTON COLECTADO EN EN CADA UNA DE LAS 11 REGIONES CALCOFI Y AL TOTAL (Regiones Conjuntas) DEL AREA DE INVESTIGACION CALCOFI DURANTE 1975. (Loeb et al., 1983).

Categoría Taxonómica	Area: Región:	CALIFORNIA CENTRAL		SUR DE CALIFORNIA			BAJA CALIFORNIA N			B.C. CENTRAL		TOTAL	
		4	5	7	8	9	11	12	13	14	16		17
		C.C.	A.C.	C.C.	A.C.	H.M.A.	C.C.	Bahía	A.C.	H.M.A.	C.C.		A.C.
PELAGICAS MERITICAS		5.01	4.09	82.72	91.94	83.15	91.06	81.49	82.84	36.11	85.40	59.12	75.56
Mesopelágicas		42.01	81.05	7.04	5.84	15.12	4.31	2.15	16.49	60.91	6.91	33.80	16.67
Myctophidae		22.42	46.40	2.10	2.55	8.42	2.46	1.57	9.37	25.91	4.85	20.18	8.66
Bathylagidae		18.44	23.60	4.62	2.45	3.45	0.96	0.18	2.30	9.70	0.50	0.89	3.65
Gonostomatidae		0.22	1.37	0.03	0.20	0.98	0.28	0.14	3.00	19.44	1.12	10.83	2.97
Otros		0.93	9.68	0.29	0.64	2.27	0.61	0.26	1.82	5.86	0.44	1.90	1.49
DEMERSALES		52.85	14.45	10.23	2.20	1.50	4.60	16.35	0.53	2.77	7.55	7.03	7.58
Peces rocas		44.32	7.41	7.21	1.61	0.57	2.38	0.72	0.09	0.66	0.57	0.36	3.73
Peces planos		3.71	6.37	0.80	0.34	0.51	0.92	14.39	0.37	2.47	3.95	5.51	3.14
Sciaenidae		2.36	--	1.57	0.02	--	0.66	0.50	--	--	0.57	0.65	0.52
Otros		2.46	0.67	0.65	0.23	0.42	0.64	0.74	0.07	0.24	2.46	0.51	0.79
OCEANICOS EPIPELAGICOS		0.13	0.41	0.006	0.03	0.23	0.03	0.01	0.14	0.21	0.07	0.05	0.10
Abundancia total de larvas ( $\times 10^{13}$ )		0.68	0.55	3.78	3.16	2.81	2.23	2.64	2.68	1.90	2.40	1.92	24.76

Abundancias totales estimadas por suma de las abundancias regionales promedio ajustadas para área

C.C. - Cerca de la costa

A.C. - Alejado de la costa

H.M.A. - Hacia mar abierto

dominan en las regiones 4 y 7 cercanas a la costa del Sur de California, E.U.A. (41.7 - 46.7% *NPN*), y son relativamente abundantes en la región 11 (26.6% *NPN*) costera del Norte de Baja California, Méx.

Las larvas de Sciaénidos también son abundantes (7.4 - 9.1% *NPN*) en las regiones costeras 7 y 11.

Entre las formas mesopelágicas, las abundancias de Bathylagidae disminuyen de Norte a Sur y de la costa hacia mar abierto, mientras que las de Myctophidae y Gonostomatidae aumentan.

Las larvas de Bathylagidae son relativamente abundantes para el Centro y Sur de California (19.4 - 30.4% *NPN*) y raras en el área de Baja California (1.0 - 15.2% *NPN*); las larvas de Gonostomatidae son también escasas en todas las regiones de California (0.2 - 5.8% *NPN*), y en las regiones costeras de Baja California (0.7 - 7.7% *NPN*) (mista tabla y figura, Loeb *et al.*, 1983).

#### Diferencias en composición de especies del Ictioplancton por época del año

La zona frente a Baja California Norte marca una transición entre aguas Subárticas y Ecuatoriales (Sverdrup *et al.*, 1970, y Gómez-Valdez y Vélez-Muñoz, 1982). Esta zona de transición coincide con un lóbulo de remolino persistente de presión eólica negativa, el cual produce convergencia en el lecho superficial, se extiende desde mar afuera hacia la costa y marca una separación de stocks desovantes de las principales especies de peces pelágicos en la Corriente de California (Loeb *et al.*, *op. cit.*).

Las aguas subárticas presentan máximos de abundancia ictioplanctónica en el periodo enero-marzo, y las especies de aguas cálidas, principalmente del Pacífico Tropical Oriental, muestran máximos de abundancia en verano y otoño (Loeb et al., 1983).

El ictioplancton manifiesta grandes fluctuaciones en abundancia según la época del año, principalmente por el desove en periodos muy definidos de las principales especies pelágicas. Las abundancias máximas de anchoveta, merluza y jurel se presentan en enero y marzo, constituyendo el 84% del total de larvas (TL). Las especies pelágicas también dominan durante mayo (67% TL), (Loeb, et al., *op. cit.*).

Las formas mesopelágicas tienen 2 abundancias pico por el incremento de desove de myctóphidos y bathylágidos durante enero y marzo, y de myctóphidos y gonostomátidos durante julio. Por las abundancias bajas de las especies pelágicas en julio y octubre-noviembre, las especies mesopelágicas dominan el ictioplancton (57 y 40% TL), y son aproximadamente equivalentes a las especies pelágicas en diciembre (mesopelágicas: 39% TL; pelágicas: 43% TL).

Las formas demersales también son abundantes durante enero y marzo por los picos de abundancia de larvas de los peces de rocas (3%), pero por la dominancia de las especies pelágicas sólo constituyen el 4% del total (Loeb et al., *op. cit.*).

Los Sciaénidos presentan abundancia pico en enero (0.5% TL) y números relativamente constantes de formas demersales se presentan de mayo a octubre-noviembre, momento en que predominan los peces planos (8 - 16% TL). Otros taxa de larvas de peces demersales se presentan también durante

octubre (7% TL), (Loeb et al., 1983).

Las especies oceánicas son más abundantes (1% TL) de octubre a diciembre.

En la Tabla 6 se muestran los 18 taxa de larvas de peces más abundantes y su porcentaje de contribución al total del ictioplancton para las regiones 7 y 11 (fig. 17), adyacentes a la zona de influencia de la C.T. en Rosarito (Loeb et al., *op. cit.*).

Para el año de 1975, la abundancia total estimada de larvas de peces para la región 7 fue de  $3.78 \times 10^{19}$  (Tabla 5), cuyos porcentajes por grupo fueron: pelágicas: 82.72%, mesopelágicas: 7.04%, demersales: 10.23%, y oceánicas: 0.006%; para el caso de la región 11 el total estimado de larvas fue de  $2.23 \times 10^{19}$ , y sus correspondientes porcentajes fueron: pelágicas: 91.06%, mesopelágicas: 4.31%, demersales: 4.6% y oceánicas: 0.03%.

El total de larvas estimado para el mismo año y las 11 regiones CalCOFI de la figura 17 y Tabla 5 fue de  $24.76 \times 10^{19}$ , ocupando la región 7 el primer lugar en abundancia y la región 11 el sexto, lo cual hace ver la importancia de estas áreas como zonas de desove y reclutamiento de peces (Loeb et al., *op. cit.*).

En las figuras 18 y 19 se muestran las variaciones en abundancia según los meses, para las principales categorías del ictioplancton en las regiones 7 y 11 respectivamente. En ambas regiones se observa un pico de abundancia ictioplanctónica en marzo, en cambio, en la región 7 se observa otro pico en octubre, en el que predominan formas

TABLA 6. LARVAS DE PEZ DE LOS 18 TAXA MAS ABUNDANTES (INCLUYENDO LAS IDENTIFICACIONES DE LAS 10 ESPECIES MAS ABUNDANTES) EN ORDEN DE ABUNDANCIA, Y SU PORCENTAJE DE CONTRIBUCION AL TOTAL DEL ICTIOPLANCTON DENTRO DE LAS REGIONES 7 Y 11 CalCOFI, EN 1975. (Loeb et al., 1983).

Area:		SUR DE CALIFORNIA		
Región:		7 (Cercana a la Costa)		
Rango	TAXA O ESPECIE	Tipo de Especie	No./10 m <sup>2</sup>	%
1	<i>Engraulis mordax</i>	P	4 333.1	79.5
2	<i>Sebastes</i> spp	D	349.7	6.4
3	<i>Leuroglossus stilbius</i>	M	226.3	4.1
4	<i>Merluccius productus</i>	P	177.0	3.2
5	<i>Stenobranchius leucopsarus</i>	M	87.8	1.6
6	Sciaenidae	D	81.0	1.5
7	<i>Bathylagus ochotensis</i>	M	24.7	0.4
8	<i>Sebastes jordani</i>	D	20.5	0.4
9	<i>Sebastes paucispinis</i>	D	16.8	0.3
10	<i>Citharichthys stigmaeus</i>	D	13.1	0.2
11	Gobiidae	D	9.2	0.2
12	<i>Argyropelecus</i> spp	D	8.8	0.2
13	<i>Citharichthys stigmaeus</i>	D	8.0	0.1
14	<i>Tarletonbeania crenularis</i>	M	7.8	0.1
15	<i>Protomyctophum crockeri</i>	M	6.7	0.1
16	<i>Sebastes levis</i>	D	6.0	0.1
17	<i>Parophrys vetulus</i>	D	5.6	0.1
18	<i>Pleuronichthys verticalis</i>	D	5.5	0.1
T O T A L			5 387.6	98.6

Rangos basados sobre abundancias promedio sumadas (número por 10 m<sup>2</sup> de superficie del mar) de cada Taxon de 6 cruceros dentro de cada región.

NOTAS:

- P - Pelágica  
 D - Demersal  
 M - Mesopelágica

Las regiones 7 y 11 de CalCOFI son las más cercanas a la zona de estudio.

TABLA 6. C O N T I N U A C I O N

Area:		NORTE DE BAJA CALIFORNIA			
Región:		11 (Cercana a la Costa)			
Rango	TAXA O ESPECIE	Tipo de Especie	No./10 m <sup>2</sup>	%	
1	<i>Engraulis mordax</i>	P	5 749.8	81.8	
2	<i>Merluccius productus</i>	P	643.2	9.1	
3	<i>Sebastes</i> spp	D	163.8	2.3	
4	<i>Triphoturus mexicanus</i>	M	88.8	1.3	
5	<i>Leuroglossus stilbius</i>	M	49.7	0.7	
6	Sciaenidae	D	44.1	0.6	
7	<i>Citharichthys</i> spp	D	30.9	0.4	
8	<i>Protomyctophum crockeri</i>	M	27.9	0.4	
9	<i>Lampanyctus ritteri</i>	M	20.6	0.3	
10	<i>Argyropelecus</i> spp	D	20.0	0.3	
11	Clinidae	D	16.5	0.2	
12	<i>Trachurus symmetricus</i>	P	13.1	0.2	
13	Gobiidae	D	11.5	0.2	
14	<i>Lampanyctus</i> spp	M	10.7	0.2	
15	<i>Vinciguerria lucetia</i>	M	10.1	0.1	
16	<i>Bathylagus ochotensis</i>	M	9.9	0.1	
17	<i>Citharichthys stigmæus</i>	D	9.0	0.1	
18	Cottidae	D	7.9	0.1	
T O T A L			6 927.5	98.4	

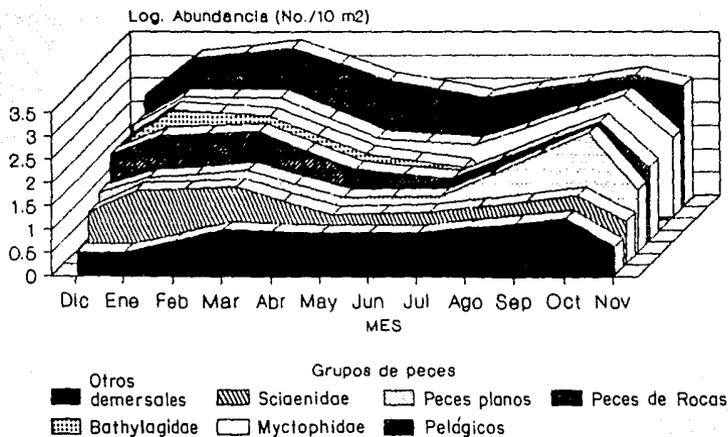
Rangos basados sobre abundancias promedio sumadas (número por 10 m<sup>2</sup> de superficie del mar) de cada Taxon de 6 cruceros dentro de cada región.

## NOTAS:

- P - Pelágica
- D - Demersal
- M - Mesopelágica

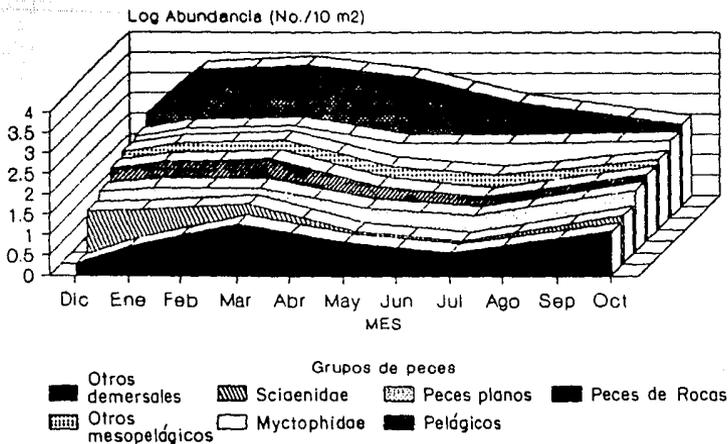
Las regiones 7 y 11 de CalCOFI son las más cercanas a la zona de estudio.

**Fig. 18 FLUCTUACIONES DE ABUNDANCIA ESTACIONAL DE LOS TAXA MAYORES DEL ICTIOPLANCTON**



Región 7 CalCOFI, 1975

**Fig. 19 FLUCTUACIONES DE ABUNDANCIA ESTACIONAL DE LAS CATEGORIAS MAYORES DEL ICTIOPLANCTON**



Región 11 CalCOFI, 1975

pelágicas, myctóphydos, peces de rocas y peces planos (Loeb et al., 1983).

Las abundancias de especies no pelágicas neríticas son elevadas de diciembre a marzo y entonces (excepto en región 7 en octubre) disminuyen hasta niveles bajos y relativamente constantes por el resto del año.

Durante enero y marzo se presentan abundancias máximas de larvas de peces de rocas, bathylágidos y myctóphidos (64.6-94.7% NPH dentro de cada región). Los principales taxa constituyentes son *Sebastes* spp., los bathylágidos *Leuroglossus stilbius* y *Bathylagus ochotensis* y los myctóphydos *Stenobranchius leucopsarus* (región 7) y *Proto-myctophum crockeri* (regiones 7 y 11).

Las abundancias de todas las categorías mayores (excepto myctóphydos en región 11) disminuyen en mayo y, excepto para los peces planos, permanecen bajas por el resto del año. En la región 11 los myctóphydos tienen una abundancia máxima en julio dominada por *Triphoturus mexicanus*.

Los picos de abundancia de los peces planos ocurren durante octubre-noviembre en ambas regiones (7 y 11), y se deben principalmente a grandes números de *Citharichthys* spp., *C. stigmæus* y *C. sordidus*.

La abundancia de peces planos es más notable en la región 7 durante octubre, cuando se presenta la máxima abundancia de especies no pelágicas neríticas (aprox. 81% corresponden a peces planos). Los peces planos constituyen el 25.5% del total de especies en octubre en la región 11 y 34.6% en noviembre en la región 7 (Loeb et al., 1983).

### 2.2.2.2 Especies marinas locales y migratorias de aves y mamíferos

Organismos diferentes a los antes mencionados y que también pueden presentarse al menos en algún momento del año en la zona de influencia de la C.T., son aves y mamíferos marinos enlistados en las Tablas 2 a la 4 (King, 1964; Tuck y Heinzl, 1980; Urbán y Aguayo, 1985) en el Anexo II, en las cuales se menciona además el estado poblacional en el que se encuentran (especies "en peligro de extinción", "amenazadas" o "raras"), según el criterio de SEDUE mencionado en las mismas tablas (Información obtenida de manuscritos consultados en SEDUE).

### 2.2.3 Productividad pesquera

La Corriente de California se puede considerar entre las más productivas del mundo, habiendo pesquerías con alto valor comercial. Las capturas realizadas en el año de 1979, según las principales categorías pesqueras fueron: peces demersales < 25,000 tons, peces pelágicos:  $2 \times 10^5$  -  $5 \times 10^5$  tons, atunes y especies afines  $\approx$  25,000 tons, cangrejos  $\approx$  2,000 tons y langostas  $\approx$  500 tons (FAO, 1981).

La Corriente de California se encuentra dentro del Area Pesquera Mayor número 77, definida como Pacífico Central Oriental por la FAO.

FAO publicó en 1985 el estado de explotación de diversos recursos pesqueros del Pacífico Tropical Oriental (Tabla 7). Para 1983 se observa que la mayoría de recursos definidos se mencionan como "ligeramente explotados". Solamente el atún aleta amarilla y los camarones se consideran como "completamente explotados", en tanto que el atún aleta azul y

TABLA 7. ESTADO DE EXPLOTACION DE LAS PRINCIPALES PESQUERIAS DEL PACIFICO CENTRAL ORIENTAL (FAO, 1985).

S T O C K	Principales países pesqueros (1983)	Potencial Estimado ('000 t)	Capturas ('000 t)							Estado de Explotación
			1965	1970	1975	1980	1981	1982	1983	
				- 74	- 79					
Peces demersales	México, E.U.A.	1000-2000	33	81	70	79	122	123	98	L.E.
Macarela del Pacífico	E.U.A.	100-500	30	19	27	20	15	26	19	L.E.
Sardina de California	México	(a)	21	58	143	328	340	433	316	(a)
Anchoveta norteña	México	500-1000	3	92	238	374	424	365	237	L.E.
Otros peces pelágicos costeros	Ecuador, México, E.U.A.	500?	20	8	12	20	30	212	112	L.E.
Barrilete	México, E.U.A.	250	76	61	121	134	147	122	79	M.E.
Atún aleta azul	México, E.U.A.		8	9	8	3	2	3	1	M.E.
Atún aleta amarilla	México, E.U.A.	200-250	97	165	197	152	167	137	116	M.E.
Peces no identificados	Ecuador, México		69	153	125	200	302	174	47	
Camarones	Ecuador, México, Panamá	80	61	78	71	88	92	113	103	C.E.
Total de crustáceos		600	65	84	83	103	115	127	110	
Calamares	México, E.U.A.	500-100?	9	11	14	31	32	20	5	L.E.
Total de moluscos			23	31	36	64	67	51	30	
Total del Area			585	989	1699	2417	2709	2342	1642	

NOTAS:

(a) - El potencial varía - Pesquería de E.U.A. colapsada en los 50's.

L.E. - Ligeramente Explotado

M.E. - Medianamente Explotado

C.E. - Completamente Explotado

el barrilete se consideran "moderadamente explotados", criterio en función del potencial pesquero total estimado para cada pesquería dentro del Area 77.

En la costa del Pacífico mexicano se genera normalmente más del 70% de la producción pesquera anual nacional, mientras que el estado de Baja California ha ocupado un lugar preponderante en la pesca del país, reportando usualmente más del 20% de la producción pesquera nacional, figura 20, (Secretaría de Pesca, 1980-86, 1987a, 1988).

La producción pesquera (volumen de las capturas y su valor comercial) para el estado en el periodo 1979-85 se esquematiza en la figura 21, en la cual se aprecia la influencia que tuvo el fenómeno de "El Niño" que aconteció en 1982-83 en la costa del Pacífico de Baja California (FAO, 1985).

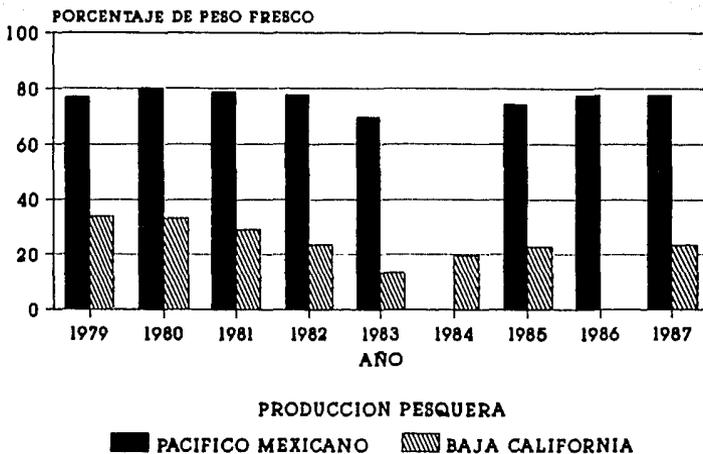
Durante dicho periodo los peces marinos más abundantes en orden decreciente de sus capturas fueron: anchoveta, atún, barrilete, sardina, macarela, tiburón, marlín, bonito, jurel, lenguado, corvina y ronco (figuras 1 y 2\*, Anexo I; Secretaría de Pesca, *op. cit.*).

Otras especies abundantes fueron: camarón, almeja, erizo, abulón, choro, langosta, sargazos y algas, figura 3, Anexo I (Secretaría de Pesca, *op. cit.*).

El valor correspondiente a las capturas de las especies antes

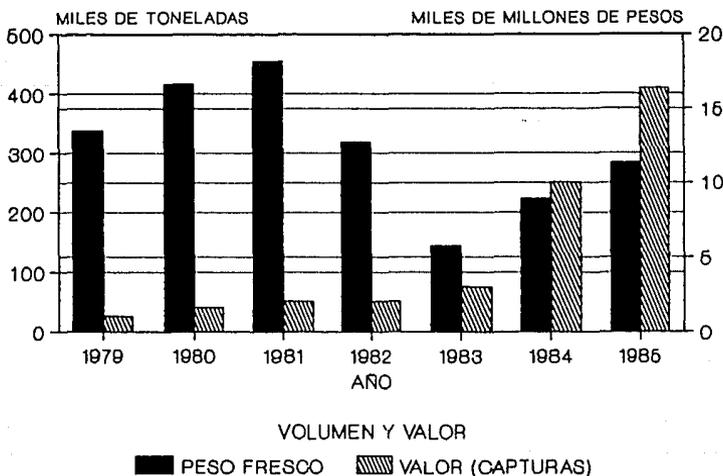
-----  
 \* El uso de barras y la presencia de huecos en las figuras fue por la carencia de los respectivos datos (no reportados en la literatura consultada) que impedían darle continuidad a las curvas

**FIGURA 20. PORCENTAJE DE LA PRODUCCION PESQUERA DEL PACIFICO MEXICANO Y DE BAJA CALIFORNIA RESPECTO AL TOTAL NACIONAL**



Fuente: Secretaría de Pesca, 1980-1988.

**FIG 21. VOLUMEN Y VALOR DE LA PRODUCCION PESQUERA PARA BAJA CALIFORNIA**



mencionadas aparece en las figura 4 y 5 (Anexo I).

Se adolece de información precisa sobre la productividad pesquera de la zona de Rosarito y de otras localidades de Baja California en general, debido entre otras razones a:

1. La "zona pesquera" más cercana a Rosarito corresponde a Poptla, asentamiento turístico-pesquero, cuya playa es ocupada por pescadores independientes los cuales no llevan registros de sus capturas.
2. La información recabada por las oficinas locales de la Secretaría de Pesca es reportada en Anuarios Estadísticos (Secretaría de Pesca, 1980-86) o en informes preliminares (Secretaría de Pesca 1987a, 1988), los cuales concentran dicha información sin mencionar las capturas por especie o esfuerzo pesquero por localidad, sino que las mencionan globalmente para el estado, además de que la información es presentada sin uniformidad entre un año y otro.
3. Los estudios realizados por instituciones oficiales y académicas locales (CRIP, UABC, CICESE) se concretan generalmente a evaluar algunos recursos en particular (algas marinas, abulón, langosta, ostión, etc.) y básicamente para la zona de Ensenada, San Quintín, Isla de Cedros o Bahía Magdalena sin que se tenga conocimiento de estudios correspondientes del Norte de Ensenada, o que contemplen el potencial pesquero de manera global e interespecífico, siendo entonces esta falta de información o divulgación científica otra de las razones que impiden conocer mejor la productividad pesquera de la zona de estudio en cuestión.

Información sobre productividad pesquera lo más cercano a la zona de la C.T. Rosarito, corresponde a las toneladas desembarcadas y al valor que representaron éstas para las principales pesquerías registradas por la oficina de SEPESCA en Ensenada durante 1979-81 (Secretaría de Pesca, 1980-82).

Los principales peces capturados según su orden de abundancia fueron: anchoveta, atún y barrilete. La macarela, tiburón, sardina, bonito y jurel fueron poco significativas comparadas con las 3 primeras (fig. 6, Anexo I).

El orden de importancia económica para las especies antes mencionadas fue: atún, anchoveta, barrilete, macarela, tiburón, sardina, bonito y jurel (fig. 6, Anexo I).

Entre otros recursos pesqueros, los moluscos, las algas, el lenguado y la langosta, tuvieron capturas muy bajas respecto a las especies anteriores (fig. 7, Anexo I); los sargazos presentaron la mayor abundancia aunque disminuyeron de 1979 a 1981 (fig. 8, Anexo I). De éstas, las más importantes económicamente fueron: sargazos, algas, moluscos y langosta.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 *Delimitación del Área marina influenciada por la C.T.*

Para delimitarla se estableció una red de monitoreo comprendida por 11 estaciones de muestreo, con profundidades de 1.5 a 20 m (figura 22).

El criterio para ubicación de las estaciones se basó en la intención de establecer posibles diferencias entre una zona influenciada por la toma y descarga del agua para enfriamiento contra una zona libre de dicha influencia; para ello se consideraron las características y comportamiento de la futura pluma térmica previamente simulada por CFE, figura 23 (CFE, 1986). El modelo matemático, los parámetros y las condiciones consideradas para la simulación de la pluma se describen en el Anexo III.

Las posibles diferencias entre una zona y otra fueron analizadas mediante la evaluación de parámetros fisicoquímicos, bacteriológicos y biológicos.

Un análisis preliminar de los resultados de los parámetros

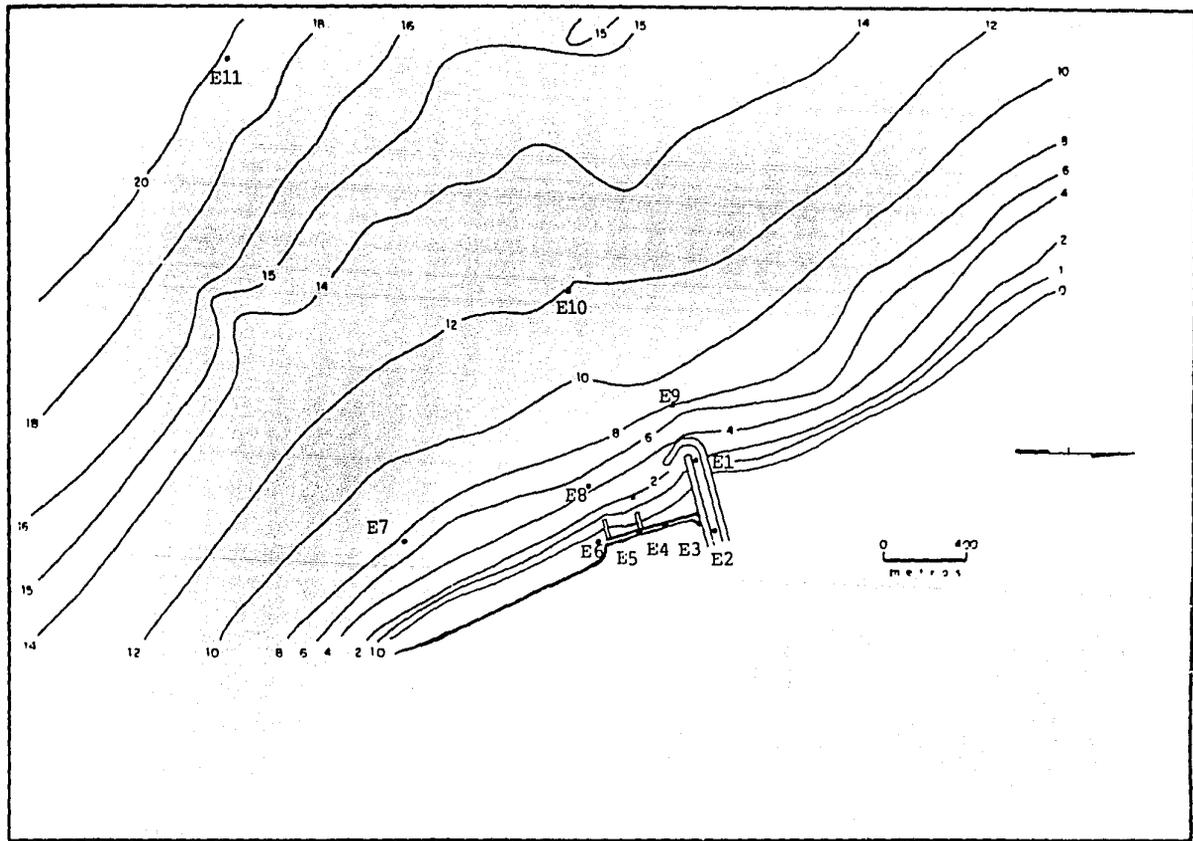
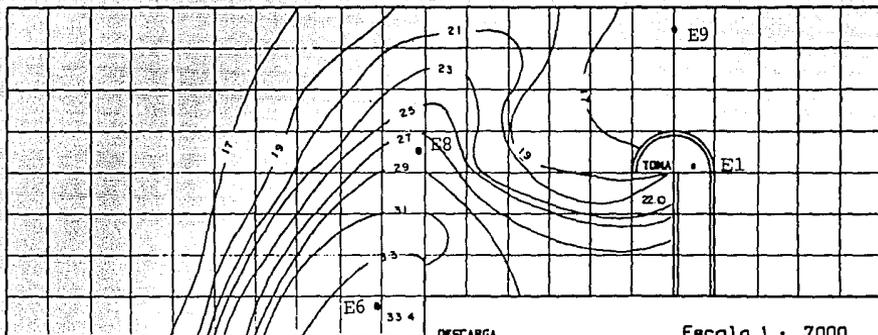


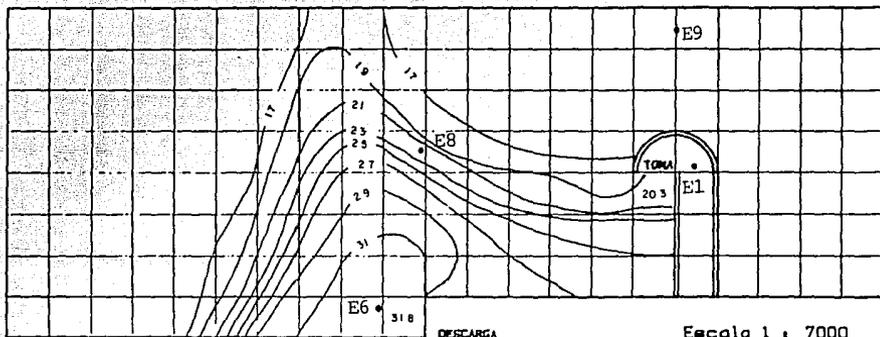
Fig. 22. Area de estudio: batimetría y estaciones de muestreo (Tomado de Peña y Ramírez, 1987).



Escala 1 : 7000

Área de afectación: 0.496 km<sup>2</sup>

TIEMPO , 13:00 hrs
GASTO , 30.0 m <sup>3</sup> /seg
INC. TEMPERATURA . 11.5 °C
ESC DE VEL. .1 cm son cm/seg
CORRIENTES TIPO C
NNW 15 cm/seg



Escala 1 : 7000

Área de afectación: 0.369 km<sup>2</sup>

TIEMPO , 13:00 hrs
GASTO , 30.0 m <sup>3</sup> /seg
INC. TEMPERATURA . 11.5 °C
ESC DE VEL. .1 cm son cm/seg
CORRIENTES TIPO A
NNW 20 cm/seg
WSW 11 cm/seg
ENE 5 cm/seg

Fig 23. Determinación del área de influencia de la futura descarga térmica según simulaciones de CFE, (CFE, 1986)

fisicoquímicos permitieron discernir como zona de influencia a la comprendida por las estaciones E1 a la E6, y como zona de no influencia la correspondiente a las estaciones E7 a E11.

Como ayuda para diferenciación se aplicó la prueba de  $t$  (Student, en Steel y Torrie, 1985) entre los valores de una zona y otra para cada parámetro fisicoquímico. Los parámetros cuyos valores mostraron diferencias significativas entre ambas zonas se emplearon para efectuar junto con los respectivos resultados biológicos, correlaciones lineales cruzadas, obteniendo con esto sus coeficientes de correlación ( $r$ ), y si su relación era directa o inversa proporcional.

Las 11 estaciones de muestreo (fig. 22) quedaron distribuidas de la siguiente forma: E1 y E2 en el canal de toma (6 m de profundidad), E3-E6 en el canal de descarga (1.5 m prof.), E7-E9 cercanas a la costa (E7 y E8 con profundidades de 6.5 m, y la E9 con una profundidad de 8.5 m), y E10 y E11 alejadas de la línea de costa, quedando la E10 perpendicular al punto de descarga (profundidad de 12 m), y la E11 más alejada y hacia el Sur (profundidad de 20 m).

### 3.2 Métodos de campo

Al momento de los muestreos, la ubicación de las estaciones en el mar se hizo por el método de triangulación por azimut con 2 referencias en tierra, utilizando un compás de mano desde una lancha de 3.5 m de eslora con motor fuera de borda de 48 HP, la cual se utilizó a excepción de la estación E2 en el resto de las estaciones.

Se evaluaron un total de 12 parámetros fisicoquímicos y 2 bacteriológicos (Tabla 8) con el objeto de caracterizar las

TABLA 8. METODOS DE COLECTA EN CAMPO Y ANALISIS DE LABORATORIO UTILIZADOS PARA LA DETERMINACION DE PARAMETROS FISICOQUIMICOS

PARAMETRO	METODO DE MEDICION Y/O COLECTA DE MUESTRA Y SUBMUESTRA	METODO DE ANALISIS EN LABORATORIO Y/O GABINETE	UNIDADES	OBSERVACIONES O COMENTARIOS
Profundidad	Medición con sonda de plomo y cable marcado cada 10 cm.	Se corroboró ubicación y profundidad del punto de muestreo.	(m)	Se determinó la profundidad al fondo del punto de muestreo.
Temperatura	Medición por método directo, con termistor Beckman mod. 504, calibrado con termómetro Taylor de -10 a 50°C.	Se corroboró con información local reportada para la misma época de muestreo.	(°C)	Medición superficial
Conductividad	Medición por método directo, con conductímetro-salinómetro Beckman, mod. 504, calibrado a una resistencia de 50 mohs.	Se corroboró con información local	mohs/cm <sup>2</sup>	Medición superficial
Salinidad	Medición por método directo, con conductímetro-salinómetro Beckman mod. 504.	Se corroboró con información local	(gr/l) (‰)	Medición superficial
Transparencia	Medición por método directo, con disco de Secchi.	Se corroboró con información local	(m) (%)	Hasta la profundidad de visibilidad del disco.
Potencial Hidrógeno	Colecta de muestra con botella Van Dorn; submuestra en botella opaca de plástico (500 ml).	Se determinó utilizando un Potenciómetro Beckman calibrado con soluciones Buffer de pH 4, 6 y 9. Se corroboró	(unjd.)	Colecta superficial
Oxígeno Disuelto	Medición por método directo, con oxímetro YSI mod. S14, calibrado por método yodométrico a temperatura y presión local; colecta de submuestra con botella Van Dorn	Se corroboró con información local	(mg/l)	Colecta superficial
Demanda Química de O <sub>2</sub>	Colecta de muestra con botella Van Dorn, submuestra en botella DBO de vidrio (350 ml).	Se utilizó el método No. 508 de APHA, AMMA y NPCF (1985)	(mg/l)	Colecta superficial
Demanda Química C12	Colecta con botella Van Dorn, submuestra en botella de vidrio opaco (1 lt).	Se utilizó el método No. 409 de APHA, AMMA y NPCF (1985)	(mg/l)	Colecta superficial

TABLA 8. C O N T I N U A C I O N

PARAMETRO	METODO DE MEDICION Y/O COLECTA DE MUESTRA Y SUBMUESTRA	METODO DE ANALISIS EN LABORATORIO Y/O GABINETE	UNIDADES	OBSERVACIONES O COMENTARIOS
Cloro libre residual	Colecta con botella Van Dorn, submuestra en botella de vidrio opaco (1 lt.)	Se utilizó el método No. 408 de APWA, APWA y MPFC (16 ed.)	(mg/l)	Colecta superficial
Sólidos sedimentables	Colecta de muestra con botella Van Dorn, submuestra en botella de plástico opaco (1 lt.)	Se utilizó el método No. 209 de APWA, APWA y MPFC (16 ed.)	(mg/l)	Colecta superficial
Grasas y aceites	Colecta de muestra con botella Van Dorn, submuestra en botella de plástico opaco (1 lt.)	Se utilizó el método No. 503 de APWA, APWA y MPFC (16 ed.)	(mg/l)	Colecta superficial
Coliformes totales y fecales*	Colecta de muestra con botella Van Dorn, submuestra en botella de plástico opaco (1 lt.)	Se utilizó el método No. 908 de APWA, APWA y MPFC (16 ed.)	(NMP/100 ml)	Colecta superficial

\* A pesar de ser un parámetro biológico, se considera dentro de parámetros fisicoquímicos para determinar la calidad del agua.  
 NMP/100 ml - número más probable por cada 100 ml.

condiciones actuales de calidad del agua del cuerpo receptor, identificar las modificaciones debidas a la descarga térmica y pronosticar los posibles efectos de la futura descarga.

Todos los parámetros fisicoquímicos fueron determinados en la zona de estudio, por medición directa en el mar como en los casos de los 5 primeros de la Tabla 8, o a partir de submuestras de agua de mar analizadas en laboratorio, en las mismas instalaciones de la Central, para los parámetros restantes de la tabla.

Es importante aclarar que la mención breve de la metodología para los parámetros fisicoquímicos se incluyó en esta tesis como parte necesaria de todo estudio relacionado con la evaluación de un impacto ambiental sobre un cuerpo de agua, y que los correspondientes resultados se incluyeron por su necesidad implícita para la discusión, pero el reconocimiento de la cuantificación de tales parámetros lo merecen los oceanólogos Sergio Raúl Canino H. y Salvador Velázquez M. de la Facultad de Ciencias Marinas de la Universidad Autónoma de Baja California en Ensenada.

Los métodos de laboratorio para la determinación de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos se consideran estándar, siendo de uso común en este tipo de estudios los descritos por: APHA, AWWA y WPCF (1985), Strickland y Parsons (1979) y Sverdrup *et al.* (1970). Estos parámetros se obtuvieron para las 11 estaciones de muestreo, mientras que los muestreos para el ictioplancton solo se realizaron en 7 estaciones (E2, E5, E7 y de la E8 a la E11).

En cuanto a los parámetros biológicos, se evaluaron la densidad por  $m^3$  y la diversidad del ictioplancton mediante el

índice de Shannon, con el objeto de caracterizar la composición de especies presentes en el cuerpo receptor, así como su distribución y abundancia.

Los arrastres para el ictioplancton se hicieron con una red cónica de 1.5 m de longitud, 0.5 m de diámetro de boca, copo colector de 0.1 m y una apertura de malla de 0.505 mm. En 6 estaciones los arrastres se efectuaron con la lancha antes descrita y en el caso de la estación E5 el arrastre fue manual desde tierra.

Los arrastres fueron horizontales, en forma circular o rectos, a nivel superficial (dentro de los 10 m de capa de mezcla) y a una velocidad uniforme de 1.5 nudos (2.78 km/h) durante 10 minutos por cada arrastre.

El manejo de las muestras al momento de la colecta se realizó conforme a lo recomendado por Ahlstrom *et al.* (1973), que consistió en:

- Después de cada arrastre y antes de desprender el frasco colector de la red, se enjuagó ésta con agua de mar de modo que los organismos escurriesen hacia el frasco.
- Las muestras fueron cuidadosamente transferidas del recipiente colector a frascos de 1 litro en los cuales se hizo la conservación y el almacenamiento.
- Las muestras se colocaron junto con agua de mar hasta alrededor de 3/4 de la capacidad de los frascos de 1 l, después se agregaron 100 ml de formaldehído al 40% y se completó el litro con agua de mar, obteniéndose finalmente una preservación al 4% de formol. No se

neutralizó con borato de sodio. Se cerró y agitó ligeramente el frasco para obtener una conservación homogénea de los organismos de la muestra.

El llenarse completamente los frascos se hizo con el propósito de evitar el daño de los especímenes por agitación a causa de movimientos bruscos o inevitables de la embarcación, y por ello, los frascos se colocaron en la parte más estable (centro) de la lancha.

Los frascos se etiquetaron con cinta masking, y con un plumón indeleble se anotó: número de estación, tipo de red empleada, tipo de arrastre y duración de éste, fecha y hora del día.

### 3.3 *Métodos de laboratorio*

El procesamiento en el laboratorio de las muestras de ictioplankton se realizó con apoyo de lo establecido por Ahlstrom (1973).

Se revisó el total de cada muestra separando los huevos y larvas de peces de los demás organismos del zooplankton, para lo cual se revisaron paulatinamente submuestras en cajas de Petri (5.7 cm de diámetro) con un microscopio estereoscópico "Carl Zeiss" (Mod. 475002; ocular 10x, objetivos 1.5x y 2.5x).

Los huevos y larvas se separaron según sus características morfológicas para su posterior determinación taxonómica, y ésta se llevo a cabo con ayuda de un microscopio estereoscópico Wild Heerbrug (Mod. M5-81577; oculares 10x, objetivos 6x, 12x, 25x y 50x).

Para la determinación de los huevos, las características empleadas según los criterios establecidos por Ahlstrom y Moser (1980) fueron:

- 1) Forma del huevo: esférico, ovalado, etc..
- 2) Diámetro: huevos de peces marinos miden de 0.5-5.5 mm.
- 3) Corion: ornamentado o liso; tipo de ornamentación; grosor.
- 4) Membrana interna: presencia o ausencia; localización.
- 5) Vitelo: homogéneo o segmentado; tipo de segmentación.
- 6) Espacio perivitelino: amplitud.
- 7) Glóbulos de aceite: presencia o ausencia; número, diámetro y pigmentación.
- 8) Características embrionarias: estado de desarrollo al cierre del blastoporo; secuencia de aparición y cambios en pigmentación; patrón de pigmentación; grado de desarrollo de características anatómicas como ojos, boca, aletas, tracto digestivo, posición del ano, corazón, etc., en embriones en etapas tardías.

Para el caso de las larvas, las características que sirvieron para su determinación fueron las propuestas por Fahay (1983): longitud estándar, número y posición de las aletas, fórmulas de radios y espinas, patrones de pigmentación, posición del ano y número de miómeros.

La determinación de los huevos y larvas se hizo con ayuda de los trabajos de: Ahlstrom y Counts (1955), Ahlstrom (1958), Ahlstrom y Moser (1980), Ahlstrom et al (1983), Fahay (1983), Laroche et al (1983), McGowan y Berry (1983), Miller (1952), Moser et al (1977), Moser et al (1983), Moser et al (1984). Secretaría de Industria y Comercio (1976), Stevens y Moser (1982), Sumida et al (1979), Washington et al (1983) y White

et al (1983).

Una vez separados los huevos y larvas fueron contados y almacenados en frascos pequeños de alrededor de 7 ml. Huevos y larvas de especies que pudieron determinarse taxonómicamente se envasaron separadamente, y el resto que no se pudo determinar por falta de trabajos especializados para el caso, se envasaron como huevos o larvas de "otros" peces.

Cada frasco pequeño se etiquetó adecuadamente. La conservación de estas muestras se hizo con formalina al 4% tomada de las muestras originales.

Se formó una colección de referencia a partir de los huevos y larvas de peces identificados, la cual incluyó a todas las especies que pudieron ser determinadas con certeza o mayor confiabilidad. Los especímenes seleccionados para la colección se envasaron separadamente de los determinados previamente.

En una hoja de identificación se anotaron todos los especímenes de huevos y larvas que se envasaron separadamente para ubicarlos en la colección de referencia. Para consultar dentro de ésta, los huevos y larvas de peces pertenecientes a la misma familia fueron mantenidos como una unidad, ordenados alfabéticamente por género y especie para localización y revisión rápida.

### 3.4 Trabajo de gabinete

- Para índices de diversidad (Shannon-Wiener (1949) en Krebs (1985)) y equitatividad:

Indice de Diversidad:  $H' = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$

Indice de Equitatividad:  $J = H' / \ln S$

donde

$H'$  = contenido de información de la muestra  
(bits/individuo)

= índice de diversidad de especies

$J$  = equitatividad de reparto del medio por los  
organismos de las especies.

$S$  = número de especies

$p_i$  = proporción del total de la muestra que corresponde  
a la especie  $i$

- Para obtener la densidad de organismos por metro cúbico,  
por muestra:

$$\rho \text{ (orgs/m}^3\text{)} = \frac{\text{organismos totales}}{\text{volumen filtrado}}$$

Volumen filtrado:

$$V = Ad \quad \text{pero} \quad d = \theta t$$

$$\therefore V = A\theta t$$

donde

$V$  = volumen filtrado de agua de mar.

$A$  = área de la red ( $r = 0.25 \text{ m} \Rightarrow A = 0.1963 \text{ m}^2$ ).

$d$  = distancia de arrastre.

$\theta$  = velocidad de arrastre (1.5 nudos).

$t$  = tiempo de arrastre (10 minutos).

$$\theta = 1.5 \text{ nudos} \times \frac{1852 \text{ m}}{1 \text{ nudo}} \times \frac{1}{1 \text{ h}} = \frac{1.5 \times 1852 \text{ m}}{60 \text{ min}} = 46.3 \text{ m/min}$$

$$\therefore V = (0.1963 \text{ m}^2) (46.3 \text{ m/min}) (10 \text{ min}) \approx 90.89 \text{ m}^3$$

Finalmente:

$$\rho(\text{orgs/m}^3) = \frac{\text{conteos de organismos por muestra}}{90.89 \text{ m}^3}$$

- Para la Varianza Común ( $S_c^2$ ):

Como los números de muestras entre las zonas de influencia y no influencia por la C.T. fueron diferentes, se calculó la varianza común (en Parker, 1976) de los resultados de ambas zonas para cada parámetro fisicoquímico y fecha de muestreo, siendo la expresión utilizada:

$$S_c^2 = \frac{\sum x_a^2 - \frac{(\sum x_a)^2}{n_a} + \sum x_b^2 - \frac{(\sum x_b)^2}{n_b}}{n_a + n_b - 2}$$

donde

$x_a, x_b$  = valores del parámetro  $x$  de las zonas de influencia (Z.I.) y de no influencia (Z.N.I.) respectivamente.

$n_a$  = número de muestras de la Z.I.

$n_b$  = número de muestras de la Z.N.I.

- Para la prueba de t:

$$t = \frac{|\bar{x}_a - \bar{x}_b|}{\sqrt{\frac{S_c^2}{n_a} + \frac{S_c^2}{n_b}}}$$

donde:

$\bar{x}_a, \bar{x}_b$  = promedios del parámetro  $x$  de Z.I. y Z.N.I. respectivamente.

$|\bar{x}_a - \bar{x}_b|$  = valor absoluto de la diferencia entre ambos promedios.

$S_c^2$  = varianza común para el parámetro  $x$ .

$n_a, n_b$  = número de muestras de Z.I. y Z.N.I. respectivamente.

### Prueba de Hipótesis:

Las diferencias de los valores del parámetro  $x$  entre las zonas de influencia y no influencia son:

- a)  $H_0: \bar{x}_a = \bar{x}_b$  no significativas
- b)  $H_1: \bar{x}_a \neq \bar{x}_b$  significativas

Cuando

$t_{\text{calculado}} \leq t_{\text{tabla}} \longrightarrow H_0$  se acepta

$t_{\text{calculado}} > t_{\text{tabla}} \longrightarrow H_0$  se rechaza y se acepta  $H_1$

Para las correlaciones múltiples:

Se empleó el coeficiente de correlación lineal de Pearson:

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

donde

$x_i$  = valor del parámetro  $x$  en la estación  $i$

$y_i$  = valor del parámetro  $y$  en la estación  $i$

$\bar{x}$ ,  $\bar{y}$  = promedios de los parámetros  $x$ ,  $y$  de las zonas de influencia y no influencia, respectivamente.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Parámetros fisicoquímicos

Los resultados de estos parámetros se resumen en la Tabla 9. Se observa que los valores de temperatura dentro de la zona de influencia (Z.I.) fueron mayores que para la zona de no influencia (Z.N.I.), ya que los promedios para la primera fueron de  $24.2^{\circ}\text{C}$  ( $S = \pm 5.7$ ;  $C.V. = 23.6\%$ ) y  $25.6^{\circ}\text{C}$  ( $S = \pm 7$ ;  $C.V. = 27.4\%$ ), mientras que los promedios para la segunda fueron de  $14.6^{\circ}\text{C}$  ( $S = \pm 0.54$ ;  $C.V. = 3.7\%$ ) y  $16.9^{\circ}\text{C}$  ( $S = \pm 0.22$ ;  $C.V. = 1.3\%$ ) para los muestreos de junio y octubre respectivamente.

Actualmente el área total de influencia térmica por el agua de descarga se restringe casi exclusivamente al canal de descarga, zona de mezclado y zona de rompientes de oleaje, comprendiendo una distancia aproximada de 400 m al Sureste, paralelo a la línea de costa y 200 m al Suroeste perpendicular a la misma, cubriendo un área media de  $0.1875 \text{ km}^2$  (fig. 24).

La zona con mayor influencia térmica corresponde al canal de descarga, ya que se presentan incrementos de 10 a  $16^{\circ}\text{C}$

TABLA 9. EVALUACION DE PARAMETROS FISICOQUIMICOS Y BACTERIOLOGICOS EN LA ZONA DE ESTUDIO DE LA C.T. TIJUANA (JUNIO-OCTUBRE 1988).

PARAMETRO	ESTACIONES DE MUESTREO ZONA DE INFLUENCIA						$\bar{x}$	$S^2$	S	C.V. (100%)
	E1	E2	E3	E4	E5	E6				
Profundidad total (m)*	6.0	6.0	1.5	1.5	1.5	1.5	--	--	--	--
	6.0	6.0	1.5	1.5	1.5	1.5	--	--	--	--
Temperatura (°C)	16.9	17.9	30.8	28.0	27.3	24.5	24.2	32.1	5.7	23.6
	16.5	17.0	31.5	31.0	30.3	27.2	25.6	49.1	7.0	27.4
Conductividad eléctrica (mohs/cm <sup>2</sup> )	41.3	41.2	43.8	43.8	43.8	43.8	43.0	1.7	1.3	3.1
	41.8	41.8	44.4	44.4	44.4	44.4	43.5	1.8	1.3	3.1
Salinidad (‰)	32.6	32.5	34.1	34.3	34.3	34.3	33.7	0.8	0.9	2.7
	34.3	34.3	36.4	36.4	36.4	36.4	35.7	1.2	1.1	3.1
Transparencia (m)	4.0	4.0	1.5	1.5	1.5	1.5	--	--	--	--
	4.2	4.2	1.5	1.5	1.5	1.5	--	--	--	--
pH (unidades)	8.7	8.6	8.8	--	--	8.7	8.7	0.007	0.084	1.0
	8.0	7.8	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	0.004	0.063	0.8
Oxígeno disuelto (mg/l)	11.2	10.0	8.8	--	--	10.2	10.1	0.97	0.985	9.8
	6.9	6.6	6.2	6.2	6.2	6.5	6.4	0.08	0.28	4.4
Demanda Química de Oxígeno (mg/l)	0.49	--	--	--	--	0.99	0.74	--	--	--
	6.65	147	145	154	152	183	131.3	13917.7	162.59	47.7
Cloro Libre Residual (mg/l)	0.35	0.29	0.35	0.34	0.32	0.32	0.328	0.0005	0.022	6.8
	0.24	0.16	0.24	0.20	0.20	0.16	0.2	0.001	0.032	15.8
Demanda Química de Cloro (mg/l)	1.1	--	--	--	--	1.3	1.2	--	--	--
	1.6	1.5	1.3	1.6	1.8	2.2	1.7	0.1	0.32	18.6
Grasas y aceites (mg/l)	2.0	--	--	--	--	4.5	3.25	--	--	--
	15.0	--	--	--	--	18.0	16.5	--	--	--
Sólidos Sedimentables (mg/l)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	--	--	--	--
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	--	--	--	--
Coliformes Totales y Fecales (NMP/100 ml)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	--	--	--	--
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	--	--	--	--

\*-- La toma de muestra fue superficial

---- No se evaluó

C.P.D. Condiciones particulares de descarga

NPM/100 ml - Número más probable por 100 ml

$\bar{x}$  - Valor promedio

$S^2$  - Varianza

S - Desviación estándar

C.V. - Coeficiente de variación

TABLA 9. C O N T I N U A C I O N

P A R A M E T R O	ESTACIONES DE MUESTREO ZONA DE NO INFLUENCIA					$\bar{x}$	S <sup>2</sup>	S	C.V. (100%)	Legislación
	E7	E8	E9	E10	E11					
Profundidad total (m)*	6.5	6.5	8.5	12.0	20.0	--	--	--	--	
	6.5	6.5	8.5	12.0	20.0	--	--	--	--	
Temperatura (°C)	15.5	14.5	14.5	14.2	14.2	14.6	0.29	0.54	3.7	10% x C.P.D.
	17.0	17.0	16.5	17.0	17.0	16.9	0.05	0.22	1.3	(máxima 37°C)
Conductividad eléctrica (mohs/cm <sup>2</sup> )	40.8	43.8	40.8	40.3	40.0	41.1	2.33	1.53	3.7	
	41.6	45.4	45.0	45.1	44.0	44.2	2.42	1.56	3.5	
Salinidad (‰)	33.5	34.2	35.5	33.0	32.9	33.4	0.27	0.52	1.6	
	34.2	35.8	35.5	35.6	35.7	35.4	0.46	0.68	1.9	
Transparencia (m)	5.3	4.2	4.3	4.3	8.3	--	--	--	--	
	6.0	6.0	6.0	4.3	7.0	--	--	--	--	
pH (unidades)	8.7	8.6	8.7	8.8	8.7	8.7	0.005	0.07	0.8	6 < pH < 9
	8.1	8.1	8.0	8.0	8.2	8.1	0.007	0.08	1.0	
Oxígeno disuelto (mg/l)	10.4	12.0	13.0	11.5	14.0	12.2	1.9	1.34	11.3	> 5 mg/l
	7.5	7.3	7.4	7.4	7.9	7.5	0.055	0.24	3.1	
Demanda Química de Oxígeno (mg/l)	0.67	0.0	0.58	0.75	0.33	0.47	0.093	0.305	65.35	< 35 mg/l
	6.65	9.9	6.65	19.5	6.65	24.3	1414.4	37.6	154.8	C.P.D.
Cloro Libre Residual (mg/l)	0.32	0.35	0.32	0.32	0.32	0.326	0.0002	0.014	4.6	< 0.5 mg/l
	0.16	0.04	0.20	0.20	0.28	0.176	0.008	0.089	50.8	C.P.D.
Demanda Química de Cloro (mg/l)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	2.7	2.3	2.5	2.1	2.2	2.4	0.06	0.25	10.2	
Grasas y aceites (mg/l)	5.0	4.0	4.6	12.0	3.6	5.84	12.15	3.49	59.7	< 15 mg/l
	22.0	16.0	17.0	34.0	21.0	22.0	51.5	7.17	32.6	
Sólidos Sedimentables (mg/l)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	--	--	--	--	< 10 mg/l
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	--	--	--	--	
Coliformes Totales y Fecales (NMP/100 ml)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	--	--	--	--	< 10 000 NMP/100 ml
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	--	--	--	--	

\*\* La toma de muestra fue superficial

\*---\* No se evaluó

C.P.D. Condiciones particulares de descarga

NPM/100 ml - Número más probable por 100 ml

$\bar{x}$  - Valor promedio

S<sup>2</sup> - Varianza

S - Desviación estándar

C.V. - Coeficiente de variación

Legislación: Normas Técnicas Ecológicas (NTE) y  
Criterios de Calidad del Agua Clase 2C  
(SEDEJ, 1981 y Secretaría de Gobernación, 1

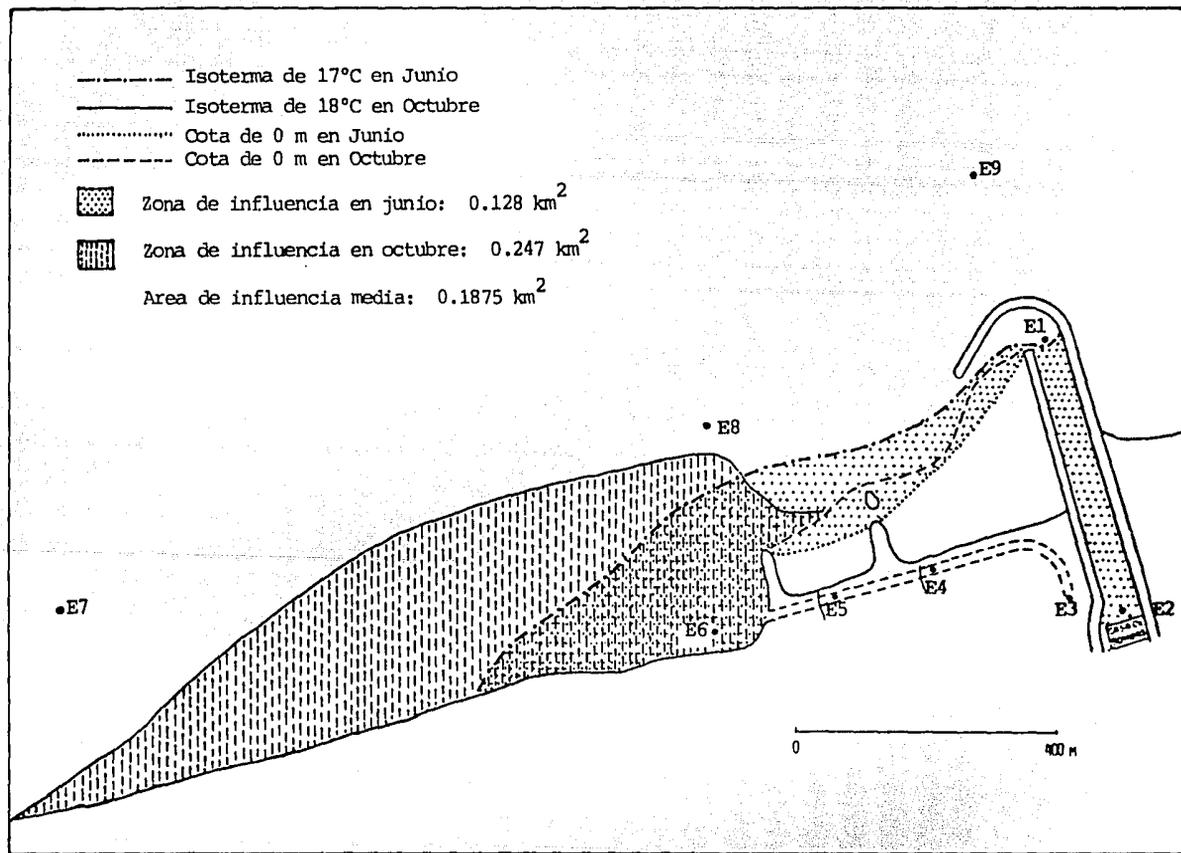


Figura 24. Evaluación de la actual zona de influencia térmica (C.T. Tijuana, junio-octubre 1988).

respecto a la estación E8 (la más cercana y en zona de no influencia, figuras 25 y 26, pero una vez que el agua de descarga hace contacto con el mar pierde calor rápidamente, alcanzando en aproximadamente 300 m hacia el mar (E8) su temperatura normal.

La salinidad mostró baja variación de sus valores entre ambas zonas, observándose en el Z.I. promedios de 33.7‰ ( $S = \pm 0.9$ ;  $C.V. = 2.7\%$ ) y 35.7‰ ( $S = \pm 0.9$ ;  $C.V. = 3.1\%$ ) para junio y octubre respectivamente, y de 33.4‰ ( $S = \pm 0.52$ ;  $C.V. = 1.6\%$ ) y 35.4‰ ( $S = \pm 0.68$ ;  $C.V. = 1.9\%$ ) para la Z.N.I. y mismas fechas.

La conductividad eléctrica como una forma indirecta para determinar contenido de sales en general, tampoco mostró variaciones muy grandes entre las zonas ya mencionadas, pues sus promedios en la Z.I. fueron de 43.0 y 43.5 mohs/cm<sup>2</sup> ( $S = \pm 1.3$ ;  $C.V. = 3.1\%$  en ambos casos) para junio y octubre respectivamente, y en la Z.N.I. fueron de 41.1 mohs/cm<sup>2</sup> ( $S = \pm 1.53$ ;  $C.V. = 3.7\%$ ) y 44.2 mohs/cm<sup>2</sup> ( $S = \pm 1.56$ ;  $C.V. = 3.5\%$ ) correspondientemente.

La transparencia del agua para las estaciones en general fue mayor en octubre que en junio; la transparencia en el canal de descarga (E2-E6) fue del 100% (1.5 m) y su valor promedio en función de la profundidad promedio entre las estaciones E1, E2, E7-E11 (9.4 m) fue de 52% (4.9 m) y 57% (5.4 m) durante junio y octubre respectivamente.

La transparencia se puede considerar dentro de rangos normales para la zona (Grijalva et al., 1985) además de que la visibilidad en el agua alcanza profundidades equivalentes en las zonas de influencia y no influencia, a excepción de la

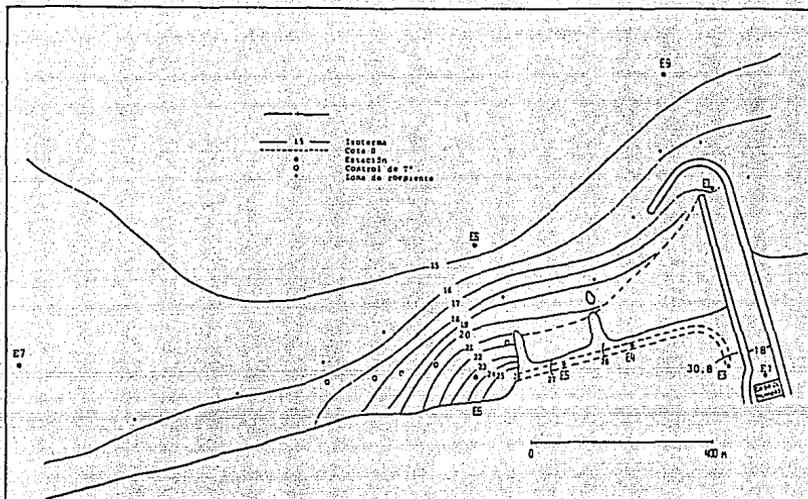


Fig. 25. Distribución y alcance de la descarga térmica de la C.T. Tijuana para condiciones de junio 1988

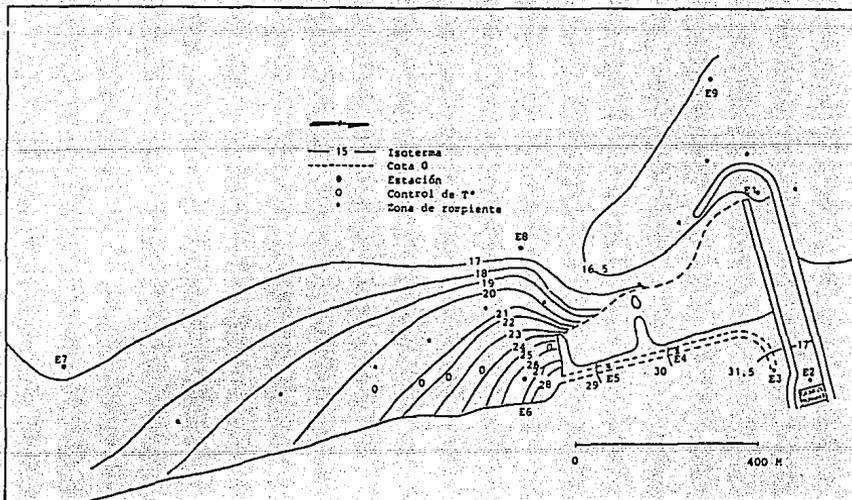


Fig. 26. Distribución y alcance de la descarga térmica de la C.T. Tijuana para condiciones de octubre 1988.

estación E11, en la que es mayor, pero ello pudiera deberse a que como hay mayor profundidad, el efecto del oleaje es menor sobre los sedimentos, encontrándose éstos asentados en el fondo, y presentándose así mayor transparencia del agua.

Los valores de pH tuvieron variaciones reducidas, teniendo en la Z.I. promedios de 8.7 ( $S = \pm 0.084$ ; C.V. = 1%) y 7.9 ( $S = \pm 0.063$ ; C.V. = 0.8%) en junio y octubre respectivamente, y en la Z.N.I. éstos fueron de 8.7 ( $S = \pm 0.07$ ; C.V. = 0.8%) y 8.1 ( $S = \pm 0.08$ ; C.V. = 1%) en los mismos meses.

En cuanto a las concentraciones de oxígeno disuelto, los promedios obtenidos para la Z.I. en los meses de junio y octubre fueron de 10.1 mg/l ( $= 7.07 \text{ ml/l}$ ;  $S = \pm 0.985$ ; C.V. = 9.8%) y 6.4 mg/l ( $= 4.5 \text{ ml/l}$ ;  $S = \pm 0.28$ ; C.V. = 4.4%) respectivamente, y para la Z.N.I. fueron de 12.2 mg/l ( $S = \pm 1.34$ ; C.V. = 11.3) y 7.5 mg/l ( $S = \pm 0.24$ ; C.V. = 3.1%) para los correspondientes meses. La concentración mínima de  $O_2$  fue de 6.2 mg/l en el canal de descarga en octubre.

La determinación de demanda química de oxígeno (DQO) como un medio para detectar contaminación por materia orgánica y partículas susceptibles de oxidación, indicó que sus valores fueron mayores para ambos muestreos en la Z.I. que en la Z.N.I.; los promedios en la Z.I. fueron de 0.74 mg/l en junio y de 131.3 mg/l ( $S = \pm 62.6$ ; C.V. = 47.7%) en octubre, y en la Z.N.I. para los mismos meses fueron de 0.47 mg/l ( $S = \pm 0.31$ ; C.V. = 65.4%) y 24.3 mg/l ( $S = \pm 37.6$ ; C.V. = 154.8%).

Los valores de DQO fueron bajos ( $< 1 \text{ mg/l}$ ) en todas las estaciones de muestreo en junio, manifestando una calidad buena del agua en función de este parámetro para ese mes.

Las concentraciones de cloro libre residual (CLR) en la Z.I. muestran promedios de 0.328 mg/l ( $S = \pm 0.022$ ; C.V. = 6.8%) y 0.2 mg/l ( $S = \pm 0.032$ ; C.V. = 15.8%) para junio y octubre respectivamente, en tanto que para la Z.N.I. corresponden a 0.326 mg/l ( $S = \pm 0.014$ ; C.V. = 4.6%) y 0.176 mg/l ( $S = \pm 0.089$ ; C.V. = 50.8%) para los mismos meses. Se observa entonces que las concentraciones de CLR difieren muy poco entre ambas zonas.

De los valores disponibles de la demanda de cloro (DCI) se observa que el promedio de ellos de 2.4 mg/l ( $S = \pm 0.25$ ; C.V. = 10.2%) en la Z.N.I. fue mayor que el correspondiente de 1.7 mg/l; ( $S = \pm 0.32$ ; C.V. = 18.6%) obtenido para la Z.I. en octubre.

Los valores de grasas y aceites en la Z.I. fueron menores a los de la Z.N.I. en ambos muestreos, obteniéndose promedios de 3.25 y 16.54 mg/l para junio y octubre respectivamente, mientras que para la Z.N.I. los promedios fueron de 5.84 mg/l ( $S = \pm 3.49$ ; C.V. = 59.7%) y 22 mg/l ( $S = \pm 7.17$ ; C.V. = 32.6%) para las mismas fechas.

De las evaluaciones hechas, no se registraron valores de sólidos sedimentables ni de coliformes totales y fecales. En cuanto a los sólidos sedimentables ello indica la ausencia de su aporte por la descarga de la C.T., que la transparencia del agua es buena y que las partículas orgánicas e inorgánicas en el agua no se encuentran afectadas por agentes extraños. Respecto a los coliformes totales y fecales en ninguna de las muestras analizadas hubo producción de gas en los tubos Durhan a las 48 hrs, lo cual indicó ausencia de organismos coliformes.

A partir de los resultados de la Tabla 9, y con los parámetros que tuvieron suficientes datos para hacerse la prueba de  $t$ , se hizo la Tabla 10. Antes de calcularse los valores de  $t$  se obtuvo la varianza común ( $S_c^2$ ) de los valores de ambas zonas para cada caso.

Los parámetros fisicoquímicos que permitieron diferenciar las zonas de influencia y no influencia por la C.T. fueron: temperatura y oxígeno disuelto para junio y octubre, y pH, DQO y DCI solo para octubre.

Los niveles de significancia empleados fueron: para  $\alpha = 0.05$  y 9 grados de libertad,  $t_{\text{tabla}} = 2.262$ , y para  $\alpha = 0.05$  y 7 grados de libertad,  $t_{\text{tabla}} = 2.365$ .

En relación a la legislación, los parámetros fisicoquímicos que sobrepasaron las normas establecidas fueron: la DQO en octubre con un promedio de 131.3 mg/l en la Z.I. y en la estación E10 (Z.N.I.), con un valor de 91.5 mg/l (norma: DQO  $\leq 35$  mg/l), y las grasas y aceites también en octubre, con un promedio de 16.5 mg/l para la Z.I., y un promedio de 22 mg/l para la Z.N.I. (norma: G y A  $\leq 15$  mg/l).

Los valores de pH ( $7.8 \leq \text{pH} \leq 8.8$ ) en toda la zona de estudio (E1-E11) se mantienen dentro del intervalo permisible ( $6 \leq \text{pH} \leq 9$ ) según la normatividad vigente (SEDUE, 1981 y Secretaría de Gobernación 1988).

Las concentraciones mínimas de  $O_2$  en el canal de descarga (8.8 y 6.2 mg/l) se encuentran dentro de niveles permisibles, dado que las normas ambientales establecen una concentración mínima de 5 mg/l.

TABLA 10. DIFERENCIACION DE LAS ZONAS DE INFLUENCIA Y NO INFLUENCIA POR EL AGUA DE DESCARGA DE LA C.T. TIJUANA, MEDIANTE PRUEBAS DE "t" ENTRE LOS RESULTADOS FISICOQUIMICOS DE CADA ZONA.

PARAMETRO	$S_c^2$	GL	$t_{calculada}$	Aceptación	
				$H_0$	$H_1$
Temperatura (°C)	17.983	9	3.74		X
	27.287	9	2.75		X
Conductividad (mohs/cm <sup>2</sup> )	1.998	9	2.22	X	
	2.078	9	0.8	X	
Salinidad (‰)	0.552	9	0.67	X	
	0.855	9	0.54	X	
pH (unidades)	0.006	7	0.0	X	
	0.005	9	0.67		X
O <sub>2</sub>	1.51	7	2.55		X
	0.07	9	6.87		X
DQO (mg/l)	-----	-	-----		
	2 805.14	9	3.34		X
CLR (mg/l)	0.0004	9	0.17	X	
	0.004	9	0.63	X	
DCI (mg/l)	-----	-	---		
	0.078	9	4.14		X

## NOTAS:

- $S_c^2$  Varianza común  
 G.L. Grados de libertad  
 $H_0$  Hipótesis nula  
 $H_1$  Hipótesis alternativa

Para  $\alpha = 0.05$  y 9 g.l.,  $t_{tabla} = 2.262$

$\alpha = 0.05$  y 7 g.l.,  $t_{tabla} = 2.365$

Los valores por columna y por parámetro corresponden a los muestreos de junio y octubre respectivamente.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Se observa que los valores de cloro libre residual fueron muy parecidos en todas las estaciones. En ninguna estación (en especial dentro de la zona de influencia) se rebasó el límite de cloro (0.5 mg/l) establecido por la legislación (SEDUE, 1981 y Secretaría de Gobernación, 1988).

#### 4.2 Parámetros biológicos

##### 4.2.1 Distribución, abundancia y diversidad del Ictioplancton en junio

Las especies del ictioplancton que se colectaron en el muestreo de junio de 1988 (Tabla 11) y las familias a las que pertenecen fueron:

- a) Pelágicas.- *Sardinops sagax caerulea* y *Etrumeus teres* de la familia Clupeidae; *Scomber japonicus* de la familia Scombridae.
- b) Demersales.- *Pleuronichthys verticalis*, *P. ritteri*, *P. coenosus* e *Hypsopsetta guttulata* de la familia Pleuronectidae; *Paralichthys californicus* de la familia Paralichthyidae; organismos de la familia Bothidae; *Hypsoblennius* sp. de la familia Blennidae y una larva de la familia Cottidae, ambos como peces de rocas.
- c) Especies no determinadas taxonómicamente.- Fueron 8, de la sp. 15 a la sp. 22.

Las especies colectadas por estación fueron:

E1: *Scomber japonicus* (6 organismos), *Pleuronichthys verticalis* (1 org.), *P. ritteri* (3 orgs.), *Hypsopsetta*

TABLA 11. DISTRIBUCION, ABUNDANCIA Y DIVERSIDAD DEL ICTIOPLANCTON DENTRO Y FUERA DE LA ZONA DE INFLUENCIA DE LA DESCARGA TERMICA DE LA C.T. TIJUANA, B.C. (JUNIO-OCTUBRE DE 1988).

ESTACION MUESTREADA	MUESTRO I (19-21 Junio/1988)										MUESTRO II (15-17 octubre/1988)					
	E1*	E5*	E7	E8	E9	E10	E11	E1*	E5*	E7	E8	E9	E10	E11		
<b>FAMILIA Y ESPECIE</b>																
<b>Peces de importancia pesquera:</b>																
Pelágicos:																
CLUPEIDAE																
Sardinops sagax caerulea	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	--	46	1	0		
GADIDAE																
Merluccius productus	0	0	0	0	0	0	0	60	0	91	--	19	45	65		
SCOMBRINAE																
Scorpaenopsis japonicus	6	3	0	0	1	0	0	0	0	0	--	0	0	0		
Demersales:																
PLEURONECTIDAE																
Pleuronichthys verticalis	1	1	0	10	4	1	0	0	0	0	--	0	0	0		
P. ritteri	3	0	1	0	2	0	0	0	0	0	--	3	0	0		
P. coenosus	0	0	1	0	2	0	0	1	0	1	--	0	0	0		
Hypsopsetta guttulata	29	9	6	5	16	3	0	180	3	15	--	5	14	29		
PARALICHTHYIDAE																
Raralichthys californicus	0	0	18	2	32	15	12	0	0	0	--	0	0	0		
BOTHIDAE	41	8	0	53	0	0	1	104	8	10	--	57	13	18		
<b>OTROS</b>																
ATHERINIDAE																
COTTIDAE	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	--	0	0	0		
CLUPEIDAE																
Etrumeus teres	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	--	0	0	0		
ELENIDAE																
Hypsoblennius sp.	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	--	0	0	1		
SYNOBONTIDAE																
Synodus lucioceps	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	--	0	1	0		
BATHYLAGIDAE																
Bathylagus wesethi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	--	0	0	0		
<b>INDIVIDUOS DETERMINADOS</b>																
sp. 15	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	--	0	0	0		
sp. 16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	--	0	0	0		
sp. 17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	--	0	0	0		
sp. 18	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	--	0	0	0		
sp. 19	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	--	1	1	1		
sp. 20	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	--	0	0	0		
sp. 21	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	--	0	0	0		
sp. 22	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	--	0	0	0		
sp. 23	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	--	0	0	0		
sp. 24	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	--	0	0	0		
sp. 25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	--	1	0	0		
sp. 26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	--	1	0	0		
sp. 27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	--	0	7	0		
TOTAL DE ORGANISMOS	83	22	44	72	60	20	14	742	11	134	--	135	82	114		
TOTAL DE ESPECIES	8	5	10	6	9	4	3	9	2	9	--	9	7	5		
INDICE DE DIVERSIDAD	1.71	1.66	12.20	11.21	11.88	10.91	10.39	11.26	10.45	11.50	--	11.95	11.79	11.45		
INDICE DE EGUITABILIDAD	0.53	10.81	10.62	10.47	10.53	10.55	10.49	10.33	10.78	10.4	--	10.56	10.64	10.68		
ORGANISMOS/m <sup>3</sup> .	10.91	10.24	10.48	10.79	10.66	10.22	10.15	18.16	10.12	11.47	--	11.48	10.90	11.25		

*guttulata* (29 orgs.), Bothidae (41 orgs.); especies no determinadas: sp. 15 a sp. 17 (1 org. c/u.).

E5: *Scomber japonicus* (3 orgs.), *P. verticalis* (1 org.), *H. guttulata* (9 orgs.), Bothidae (8 orgs.) y un organismo del género *Hypsoblennius*.

E7: *P. ritteri* y *P. coenosus* (1 org. c/u), *H. guttulata* (6 orgs.), *P. californicus* (18 orgs.), *E. teres* (1 org.); especies no determinadas; sp. 18 a sp. 21 (1 org. c/u) y sp. 22 (13 orgs.).

E8: *P. verticalis* (10 orgs.), *H. guttulata* (5 orgs.), *P. californicus* (2 orgs.), Bothidae (53 orgs.), Cottidae (1 org.) y una especie no determinada, la sp. 18 (1 org.).

E9: *S. japonicus* (1 org.), *P. verticalis* (4 orgs.), *P. ritteri* y *P. coenosus* (2 orgs. c/u.), *H. guttulata* (16 orgs.), *P. californicus* (32 orgs.); especies no determinadas: sp. 15, sp. 18 y sp. 19 con un organismo cada una.

E10: *P. verticalis* (1 org.), *H. guttulata* (3 orgs.), *P. californicus* (15 orgs.) y un organismo de *Hypsoblennius* sp.

E11: *Sardinops s. caerulea* (1 org.), *P. californicus* (12 orgs.) y un organismo de la familia Bothidae.

Como se observa en la Tabla 11, en junio hubo un predominio de peces de las familias Pleuronectidae, Paralichthyidae y Bothidae, de los cuales los de la familia Bothidae predominaron en abundancia de manera global (103 orgs.), siguiéndoles las especies *Paralichthys californicus* (79 orgs.), *H. guttulata* (68 orgs.), y *Pleuronichthys verticalis*

(17 orgs.).

La abundancia total y densidad de organismos disminuye de la costa hacia el mar abierto, es decir, de la estación E1 (83 orgs., equivalentemente  $0.91 \text{ orgs/m}^3$ ) hacia las estaciones E5 (22 orgs  $\leftrightarrow 0.24 \text{ orgs/m}^3$ ) y E7 (44 orgs  $\leftrightarrow 0.48 \text{ orgs/m}^3$ ); en la E8 se observa un aumento de tales valores (72 orgs  $\leftrightarrow 0.79 \text{ orgs/m}^3$ ) pero siguen siendo inferiores a los de la E1, y disminuyen nuevamente hacia la E9 (60 orgs  $\leftrightarrow 0.66 \text{ orgs/m}^3$ ), E10 (20 orgs  $\leftrightarrow 0.48 \text{ orgs/m}^3$ ) y E11 (14 orgs  $\leftrightarrow 0.15 \text{ orgs/m}^3$ ).

La mayor riqueza de especies estuvo en la estación E7 (10 especies), siguiendo: E9 (9), E1 (8), E8 (6), E5 (5), E10 (4) y E11 (3). La diversidad de especies calculada (bits/individuo) por estación fue en el siguiente orden: E7 (2.2); E9 (1.88), E1 (1.71), E5 (1.66), E8 (1.21), E10 (0.91) y E11 (0.39).

#### 4.2.2 Distribución, abundancia y diversidad del Ictioplancton en octubre

Para el muestreo de octubre de 1988 las especies que se colectaron fueron:

- a) Pelágicas.- *Sardinops s. caerulea* (Clupeidae) y *Merluccius productus* (Gadidae).
- b) Demersales.- *Pleuronichthys ritteri*, *P. coenosus* e *H. guttulata* (Pleuronectidae); Bothidae; Atherinidae (especies probables: *Leuresthes tenuis* y/o *Atherinopsis californiensis*); *Hypsoblennius sp.* (Blennidae).
- c) Mesopelágicas.- *Synodus lucioceps* (Synodontidae) y

*Bathylagus wesethi* (Bathylagidae).

- d) Especies no determinadas. - 5: sp. 19, sp. 23, sp. 25, sp. 26 y sp. 27.

Las especies colectadas por estación en este caso fueron:

E1: *M. productus* (60 orgs.), *P. coenosus* (1 org.), *H. guttulata* (180 orgs.), Bothidae (494 orgs.), Atherinidae (1 org.); *Hypsoblennius* sp. (1 org.), *Synodus lucioceps* (1 org.), sp. 23 (3 org.) y sp. 24 (1 org.).

E5: *H. guttulata* (3 orgs.) y Bothidae (8 orgs.).

E7: *M. productus* (91 orgs.), *P. coenosus* (1 org.), *H. guttulata* (15 orgs.), Bothidae (19 orgs.), *S. lucioceps*, *B. wesethi*, sp. 25; sp. 26 y sp. 27 (1 org. c/u.).

E8: No se obtuvieron resultados para esta estación por pérdida de la muestra.

E9: *Sardinops s. caerulea* (46 orgs.), *M. productus* (19 orgs.), *P. ritteri* (3 orgs.), *H. guttulata* (5 orgs.), Bothidae (57 orgs.), Atherinidae (2 orgs.), sp. 19, sp. 25 y sp. 26 (1 org. c/u.).

E10: *S. sagax* (1 org.), *M. productus* (45 orgs.), *H. guttulata* (14 orgs.), Bothidae (13 orgs.), *S. lucioceps* y sp. 19 (1 org. c/u), sp. 27 (7 orgs.).

E11: *M. productus* (65 orgs.), *H. guttulata* (29 orgs.), Bothidae (18 orgs.), *Hypsoblennius* sp. y sp. 19 (1 org. c/u).

De manera general para todas las estaciones estudiadas, en octubre se manifestó mayor abundancia de organismos y número de especies que en junio. Nuevamente predominaron los peces planos en cuanto a las abundancias de organismos y número de especies, pero también se observaron abundancias altas de las especies pelágicas *M. productus* y *S. sagax*.

Las especies más abundantes fueron: Bothidae (609 orgs.), *M. productus* (280 orgs.), *H. guttulata* (246 orgs.) y *S. sagax* (47 orgs.).

Para las estaciones alejadas de la costa (E9-E11) los peces de las familias Pleuronectidae y Bothidae tuvieron abundancias altas, pero fue la merluza (*M. productus*) la que predominó, y ésta junto con la sardina tuvieron mayores abundancias por estación que los peces planos en conjunto.

La mayor abundancia y densidad de organismos se presentó en las estaciones E1 (742 orgs.  $\leftrightarrow$  8.16 orgs/m<sup>3</sup>), E7 (134 orgs  $\leftrightarrow$  1.47 orgs/m<sup>3</sup>) y E9 (135 orgs  $\leftrightarrow$  1.48 orgs/m<sup>3</sup>), siguiendo la E11 (114 orgs  $\leftrightarrow$  1.25 orgs/m<sup>3</sup>), E10 (82 orgs  $\leftrightarrow$  0.9 orgs/m<sup>3</sup>) y finalmente la E5 (11 orgs  $\leftrightarrow$  0.12 orgs/m<sup>3</sup>).

El número de especies en las estaciones E1, E7 y E9 fue de 9 en cada una; en la E2 fue de 2, y en las estaciones E10 y E11 fueron 7 y 5 respectivamente.

Las mayores diversidades calculadas (bits/individuo) fueron para las estaciones alejadas de la costa: E9 (1.95), E10 (1.79) y E11 (1.45); de las estaciones más costeras, la mayor diversidad la tuvo la E7 (1.5), luego la E1 (1.26) y finalmente la E5 (0.45).

Se observó una disminución discontinua de la abundancia del ictioplancton de la costa hacia el mar, lo cual indicó una variación de las abundancias parciales de las principales especies que lo componen: en el caso de las especies pelágicas la abundancia de merluza aumenta y la de sardina disminuye, y en el caso de los peces planos la abundancia de *H. guttulata* aumenta mientras que la de los de la familia Bothidae disminuye.

Las estaciones cercanas a la costa (E1-E7) tuvieron abundancias ictioplanctónicas mayores, pero diversidades menores que las estaciones alejadas de la misma (E9-E11).

#### 4.3 Cálculos efectuados a partir de los resultados fisicoquímicos y Biológicos

##### 4.3.1 Análisis de correlación lineal cruzada entre parámetros

Debido a que las correlaciones se efectuaron con pocos datos, las significancias de las mismas fueron en general bajas y sus probabilidades de error son grandes. No obstante lo anterior, las correlaciones permitieron hacer análisis cualitativos y establecer relaciones entre pares o grupos de parámetros.

##### 4.3.1.1 Correlaciones realizadas con los resultados de junio

La temperatura se relacionó de manera directa con la DQO y la diversidad de especies (Tabla 12), mientras que con el resto de los parámetros lo hizo de manera inversa. Sus mayores correlaciones (aunque no significativas) fueron con el oxígeno disuelto ( $r = -0.61$ ) y con la DQO ( $r = 0.42$ ).

El pH solo tuvo relación directa proporcional con la DQO

TABLA 12. COEFICIENTES DE CORRELACION LINEAL (r) CRUZADA ENTRE RESULTADOS FISICOQUIMICOS Y BIOLOGICOS DEL MUESTREO DE JUNIO DE 1988.

	Temp.	pH	O <sub>2</sub>	DQO	No. spp.	Diversidad	Densidad
Temp.	1						
pH	-0.02	1					
O <sub>2</sub>	-0.61	-0.1	1				
DQO	0.42	0.68	-0.56	1			
No. spp.	-0.12	-0.22	-0.33	0.16	1		
Diversidad	0.28	-0.14	-0.64	0.4	* 0.92	1	
Densidad	-0.24	-0.55	-0.09	-0.45	0.65	0.5	1

TABLA 13. COEFICIENTES DE CORRELACION LINEAL (r) CRUZADA ENTRE RESULTADOS FISICOQUIMICOS Y BIOLOGICOS DEL MUESTREO DE OCTUBRE DE 1988.

	Temp.	pH	O <sub>2</sub>	DQO	DCI	No. spp	Diversidad	Densidad
Temp.	1							
pH	-0.62	1						
O <sub>2</sub>	*-0.82	* 0.87	1					
DQO	* 0.85	-0.71	-0.71	1				
DCI	-0.41	0.49	-0.63	-0.44	1			
No. spp	*-0.84	0.29	0.47	*-0.78	0.42	1		
Diversidad	*-0.88	0.43	*0.8	-0.64	0.59	0.74	1	
Densidad	-0.35	-0.07	-0.12	-0.42	-0.53	0.45	0.01	1

NOTAS:

Temp. - temperatura

No. spp. - número de especies

Diversidad - comparada en función de los respectivos índices calculados previamente

\* - coeficientes que indican una correlación significativa entre los parámetros relacionados

Los valores positivos expresan una relación directa proporcional, los negativos, inversa proporcional.

( $r = 0.68$ ), siendo ésta su correlación mayor respecto a los demás parámetros.

El oxígeno tuvo relación inversa con todos los parámetros, y sus mayores correlaciones fueron con la diversidad de especies ( $r = -0.64$ ), y recíprocamente con la temperatura ( $r = -0.61$ ) y la DQO ( $r = -0.56$ ).

El orden de correlación (en valor absoluto) de la DQO con los demás parámetros fue el siguiente: pH ( $r = 0.68$ ), oxígeno disuelto ( $r = -0.56$ ), densidad de organismos ( $r = -0.45$ ) y la temperatura ( $r = 0.42$ ).

El número de especies tuvo como era de esperarse una correlación directa, alta y significativa con la diversidad de las mismas ( $r = 0.92$ ; significancia de la correlación:  $T = 5.11$ ; grados de libertad = 5; probabilidad de error:  $p = 0.0178$ ); con la densidad de organismos también fue directa y alta ( $r = 0.65$ ), aunque no significativa.

Las mayores correlaciones de la diversidad de organismos fueron con: número de especies ( $r = 0.92$ ), con el oxígeno disuelto ( $r = -0.64$ ) y con la densidad de organismos ( $r = 0.5$ ).

#### 4.3.1.2 Correlaciones realizadas con los resultados de octubre

En este caso hubo mayor número de correlaciones significativas que en el del apartado anterior. La temperatura fue la que tuvo más correlaciones significativas (4), siguiéndole el oxígeno disuelto (3), la DQO, el número de especies y la diversidad (2) y el pH (1), (Tabla 13).

La temperatura tuvo correlaciones inversas significativas con el oxígeno disuelto ( $r = -0.82$ ,  $T = 3.24$ ,  $g.l. = 5$ ,  $p = 0.023$ ), con el número de especies ( $r = -0.84$ ,  $T = 3.47$ ,  $g.l. = 5$ ,  $p = 0.017$ ) y con la diversidad de especies ( $r = -0.88$ ,  $T = 4.19$ ,  $g.l. = 5$ ,  $p = 0.009$ ), y como única correlación directa significativa fue con la *DQO* ( $r = 0.85$ ,  $T = 3.62$ ,  $g.l. = 5$ ,  $p = 0.015$ ).

La temperatura mostró correlaciones de manera inversa, aunque no significativas, con el pH ( $r = -0.62$ ), la *DCI* ( $r = -0.41$ ) y la densidad de organismos ( $r = -0.35$ ).

El pH se correlacionó de manera significativa directa con el oxígeno ( $r = 0.87$ ,  $T = 3.74$ ,  $g.l. = 5$ ,  $p = 0.013$ ). Con la *DQO* tuvo una correlación moderadamente alta, inversa, no significativa ( $r = -0.71$ ), y con la *DCI* una correlación directa media ( $r = 0.49$ ).

El oxígeno como ya se mencionó anteriormente, se relacionó de manera inversa con la temperatura ( $r = -0.82$ ) y directa con el pH ( $r = 0.87$ ), y también de forma directa con la diversidad de especies ( $r = 0.8$ ,  $T = 2.98$ ,  $g.l. = 5$ ,  $p = 0.031$ ).

Es importante resaltar que aunque el oxígeno no tuvo una correlación significativa con la *DQO*, su coeficiente de correlación ( $r = -0.71$ ) expresa la relación inversa que existe entre ellos, como era obvio de esperarse.

Con la *DCI* y el número de especies, el oxígeno mostró relaciones directas medias ( $r = 0.63$  y  $r = 0.47$  respectivamente).

La *DQO* se correlacionó principalmente con la temperatura

( $r = 0.85$ ) y el número de especies ( $r = -0.78$ ,  $T = 2.83$ ,  $g.l. = 5$ ,  $p = 0.037$ ; con el pH y el oxígeno se relacionó de la misma manera ( $r = -0.71$  ambos); con la diversidad ( $r = -0.64$ ), la DCI ( $r = -0.44$ ) y la densidad de organismos ( $r = -0.42$ ) se correlacionó de forma inversa en menor grado.

Las correlaciones mayores de la DCI fueron con el oxígeno ( $r = 0.63$ ), con la diversidad ( $r = 0.59$ ), la densidad ( $r = -0.53$ ) y el pH ( $r = 0.49$ ).

El número de especies tuvo correlaciones altas como antes se mencionó, con la temperatura ( $r = -0.84$ ) y con la DQO ( $r = -0.78$ ). Tuvo también correlaciones directas no significativas con la diversidad ( $r = 0.74$ ), el oxígeno ( $r = 0.47$ ) y la densidad de organismos ( $r = 0.45$ ).

La diversidad de especies se correlaciona de manera alta inversa con la temperatura ( $r = -0.88$ ) y directa con el oxígeno ( $r = 0.8$ ); sus demás correlaciones importantes fueron: número de especies ( $r = 0.74$ ), DQO ( $r = -0.64$ ), DCI ( $r = 0.59$ ) y pH ( $r = 0.43$ ).

La densidad de organismos se relacionó de manera inversa con la DCI ( $r = -0.53$ ), la DQO ( $r = -0.42$ ) y la temperatura ( $r = -0.35$ ), y directa con el número de especies ( $r = 0.45$ ).

#### 4.3.2 Estimación del número de organismos ictioplanctónicos eliminados por acarreo a través del condensador de la C.T. Tijuana.

Suponiendo una mortalidad crítica del 100% del ictioplancton que pasa a través del condensador de la C.T. (considerándolo además como compensación por la cantidad adicional de

organismos que pudieran ser eliminados por el agua de descarga en el mar), y utilizando las densidades de 0.91 y 8.16 orgs/m<sup>3</sup> para la estación E2 en junio y octubre respectivamente, se calculó una eliminación notable de organismos por día para tales meses:

Gasto actual de agua de mar para enfriamiento por la C.T. Tijuana:

16.65 m<sup>3</sup>/segundo;

$$60 \text{ segs} \times 60 \text{ min} \times 24 \text{ h} \times 16.65 \text{ m}^3/\text{seg} = 1\,438\,560 \text{ m}^3/\text{día}$$

Gasto futuro de las C.T.'s Tijuana y Rosarito II:

25 m<sup>3</sup>/segundo;

$$86\,400 \text{ seg/día} \times 25 \text{ m}^3/\text{seg} = 2\,160\,000 \text{ m}^3/\text{día}$$

Daño actual por la C.T. Tijuana:

$$1\,438\,560 \text{ m}^3/\text{día} \times \begin{cases} 0.91 \text{ orgs/m}^3 = 1\,309\,090 \text{ orgs/día (jun)} \\ 8.16 \text{ orgs/m}^3 = 11\,738\,650 \text{ orgs/día (oct)} \end{cases}$$

Daño futuro por las C.T.'s Tijuana y Rosarito II:

$$2\,160\,000 \text{ m}^3/\text{día} \times \begin{cases} 0.91 \text{ orgs/m}^3 = 1\,965\,600 \text{ orgs/día (jun)} \\ 8.16 \text{ orgs/m}^3 = 17\,625\,600 \text{ orgs/día (oct)} \end{cases}$$

Usando la densidad promedio (4.535 orgs/m<sup>3</sup>) de organismos entre las densidades antes mencionadas de junio y octubre, el daño promedio por día y anual, tanto actual como futuro se establece como:

Daño actual:

$$1\ 438\ 560\ \text{m}^3/\text{día} \times 4.535\ \text{orgs}/\text{m}^3 = 6\ 523\ 869.6\ \text{orgs}/\text{día}$$

$$6\ 523\ 869.6\ \text{orgs}/\text{día} \times 365\ \text{días} \approx 2.38 \times 10^9\ \text{orgs}/\text{año}$$

Daño futuro:

$$2\ 160\ 000\ \text{m}^3/\text{día} \times 4.535\ \text{orgs}/\text{m}^3 = 9\ 975\ 600\ \text{orgs}/\text{día}$$

$$9\ 975\ 600\ \text{orgs}/\text{día} \times 365\ \text{días} \approx 3.58 \times 10^9\ \text{orgs}/\text{año}$$

Comparando los valores anteriores del daño de las C.T.'s. sobre el ictioplancton durante un año, con las abundancias totales estimadas de larvas para las regiones 7 y 11 CalCOFI (fig. 17 y Tabla 5) y para el mismo periodo (Loeb et al., 1983), se observa lo siguiente:

Daño promedio actual:

## Región 7 CalCOFI:

$$\frac{\text{Impacto C.T./año}}{\text{Total larvas/año}} = \frac{2.38 \times 10^9\ \text{orgs}/\text{año}}{3.78 \times 10^{13}\ \text{orgs}/1975} \approx 6.3 \times 10^{-5} \leftrightarrow 0.0063\%$$

## Región 11 CalCOFI:

$$\frac{2.38 \times 10^9\ \text{orgs}/\text{año}}{2.23 \times 10^{13}\ \text{orgs}/1975} \approx 1.07 \times 10^{-4} \leftrightarrow 0.0107\%$$

Daño promedio futuro:

## Región 7:

$$\frac{3.58 \times 10^9 \text{ orgs/año}}{3.78 \times 10^{13} \text{ orgs/1975}} \approx 0.95 \times 10^{-4} \leftrightarrow 0.0095\%$$

## Región 11:

$$\frac{3.58 \times 10^9 \text{ orgs/año}}{2.23 \times 10^{13} \text{ orgs/1975}} \approx 1.61 \times 10^{-4} \leftrightarrow 0.0161\%$$

## 5. DISCUSION

Dadas las características prospectivas de este estudio, de las 11 estaciones en las que se evaluaron los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, fueron las estaciones E1 a la E6 las que definieron la Zona de Influencia (Z.I.) por el agua de descarga de la C.T. Tijuana, mientras que las estaciones E7 a E11 definieron la zona de No Influencia (Z.N.I.) por la misma.

Se considera que actualmente el área de influencia máxima por la descarga térmica queda comprendida principalmente por el canal de descarga, la zona de mezclado y la de rompientes del oleaje, abarcando una distancia aproximada de 400 m al Sureste, paralelo a la línea de costa, y 200 m al Suroeste perpendicular a la misma, cubriendo un área aproximada de 0.2 km<sup>2</sup>.

En función de las 11 estaciones muestreadas, la Z.I. y la Z.N.I. pudieron diferenciarse inicialmente por un análisis visual de las gráficas (no incluidas en este trabajo) de los resultados fisicoquímicos, y posteriormente, por el procesamiento estadístico de éstos, comparando como ya se

mencionó mediante pruebas de  $t$ , las diferencias de los valores de cada parámetro entre una zona y otra.

Los parámetros fisicoquímicos que permitieron diferenciar las zonas en cuestión, en función de sus diferencias significativas fueron la temperatura, el pH, el oxígeno disuelto, la demanda química de oxígeno (*DQO*) y la demanda de cloro (*DCI*).

La temperatura y la *DQO* tuvieron valores mayores dentro de la Z.I. que en la Z.N.I., mientras que con el oxígeno disuelto, el pH y la *DCI* sucedió el caso contrario, lo cual pone de manifiesto que entre estos grupos de parámetros existe una relación inversa, en tanto que los parámetros de un mismo grupo guardan una relación directa. Esto pudo observarse en las correlaciones cruzadas efectuadas con los resultados fisicoquímicos, especialmente con los de octubre.

Es ampliamente reconocido, tal como lo mencionan Sverdrup et al (1970), que la solubilidad de los gases en el agua, y en este caso del oxígeno en el agua de mar, disminuye conforme la temperatura de ésta aumenta; la solubilidad del oxígeno también disminuye al aumentar la salinidad y/o la concentración de cloro según los mismos autores.

La alta correlación observada entre el pH y el oxígeno disuelto puede explicarse fácilmente por la disociación del agua en los iones  $H^+ + OH^-$ , y que si aumenta el oxígeno en el agua, se favorece la formación de los iones  $OH^-$ ; Sverdrup et al (*op. cit.*) mencionan además de este fenómeno que el agua de mar tiene un pH generalmente básico (7.5-8.4) y que el pH del agua depende principalmente de las concentraciones de  $CO_2$  y oxígeno.

Como era de esperarse, las correlaciones efectuadas entre el oxígeno disuelto y la *DQO* indicaron la relación inversa que guardan éstos entre sí, pero si entre ellos no hubo coeficientes de correlación significativos que mostrasen una relación proporcional, ello puede explicarse considerando lo que dicen Warren y Hammer (1985) acerca de que la *DQO* valora la cantidad de oxígeno necesario para oxidar completamente materia orgánica e inorgánica en el agua, en función tanto de la cantidad de dicha materia como de la concentración del oxígeno disuelto.

Semejante a la *DQO*, la *DCI* varía en relación de las concentraciones de cloro y materia orgánica e inorgánica susceptibles de ser oxidadas por él. Warren y Hammer (*op. cit.*) indican que la *DCI* es una medida de la cantidad de cloro necesaria para desinfectar el agua de bacterias y microorganismos patógenos durante su proceso de potabilización, y en comparación, la *DCI* es utilizada para conocer la dosificación necesaria del cloro para el control de organismos incrustantes en centrales termoeléctricas costeras; además de lo anterior, otra utilidad muy importante de la *DCI* y con respecto a su evaluación en el medio marino, es que se puede usar como un medio para determinar cualitativamente la productividad de una zona en relación a la abundancia de organismos planctónicos, en particular del fitoplancton (los más abundantes) según Treviño et al (1989).

De acuerdo con lo anterior, la correlación directa observada entre el oxígeno disuelto y la *DCI* pudiera explicarse primero por que las variaciones en las concentraciones de cloro libre residual (*CLR*) no fueron significativas como para determinar las variaciones en los valores de la *DCI*, y posteriormente, en términos de que a mayor número de organismos fitoplanctónicos

mayor cantidad de oxígeno será producido y detectado en el agua de mar, y mayor será la *DCI* por el fitoplancton.

Los valores del *CLR* no permitieron corroborar estadísticamente las zonas ya establecidas en relación a los demás parámetros fisicoquímicos. Como no se cuenta con las curvas de difusión del cloro no se puede estimar el área de influencia por éste, y dado que los valores de *CLR* son parecidos entre las 11 estaciones y al valor calculado de su dosificación en los antecedentes, es posible que el área de influencia por el cloro sea mayor a la respectiva por el efecto térmico.

Esto último representa 2 problemas relevantes:

- 1) En cuanto al aspecto legal, el determinar la responsabilidad de la C.T. Tijuana por el área marina influenciada por el cloro descargado, ya que por ejemplo, en la estación E11 se registró la presencia de cloro a una distancia muy considerable del punto de descarga (2941.2 m), y en la zona de estudio también pudiera haber aporte de cloro por otras fuentes, tales como aguas residuales tratadas, pesticidas, plaguicidas, etc., descargados en el mar desde los poblados de Rosarito, Tijuana y San Diego, de acuerdo a como lo menciona SAHOP (1980).
- 2) Hace más difícil para este trabajo evaluar el efecto del agua de descarga de la C.T. sobre el ictioplancton del cuerpo receptor, porque se deben de considerar 2 áreas en lugar de 1 sola: una con influencia de temperatura + cloro y otra con el solo efecto del cloro, tomando en cuenta:

- a) La hidrodinámica marina y las consecuentes difusiones de la temperatura y el cloro;
- b) La variación de sus niveles de letalidad en relación al fenómeno de difusión, a la tolerancia de los organismos a dichos niveles y a los tiempos de exposición experimentados por ellos; y
- c) La composición de especies involucradas y sus densidades.

La contaminación marina por grasas y aceites (G y A) fue más notable en octubre que en junio, y dado que sus valores fueron mayores en la Z.N.I. que en la Z.I. para ambos muestreos, esto pudo deberse más bien por derrames accidentales de combustóleo por parte de PEMEX (especialmente desde una monoboya ubicada cerca de la estación E10) y CFE, que por la operación de la C.T., pudiéndose presentar así G y A en los canales de toma y descarga por simple acarreo.

Considerando todo lo anterior, puede decirse que la influencia por el agua de descarga de la C.T. sobre el medio marino es principalmente por el incremento de temperatura, la cual a su vez determina menores concentraciones de oxígeno disuelto; este último produce valores menores de pH y mayores de *DQO* en la Z.I. respecto a la Z.N.I..

Se sabe que la toxicidad del cloro sobre los organismos marinos aumenta conforme se incrementa la temperatura (Capuzzo, 1979), por lo tanto, es de esperar que los mayores efectos del cloro sean dentro de la Z.I. Los efectos del cloro sobre los organismos serán discutidos más adelante.

Como la temperatura natural del agua fue mayor en octubre que en junio, y las concentraciones de oxígeno disuelto fueron a su vez menores, los altos valores de *DQO* observados en octubre para el canal de descarga se atribuyen al alto contenido de grasas y aceites en el agua y a la disminución todavía mayor del oxígeno disuelto por la temperatura del agua de descarga.

Dado que los valores del *CLR* varían muy poco entre las zonas de influencia y no influencia, entonces, los mayores valores de *DCI* en la Z.N.I. denotan su mayor productividad planctónica respecto a la Z.I.

En cuanto a los resultados biológicos, éstos mostraron una distribución de especies ictioplanctónicas pegadas a la costa, de lo cual se deduce que la operación de la C.T. pudiera producir daños significativos sobre las especies involucradas, especialmente sobre peces planos con distribución muy local y para las fechas de muestreo.

El impacto ocasionado por la C.T. sobre el ictioplancton marino no puede ser evaluado de manera precisa con los resultados obtenidos y mediante métodos estadísticos, por lo no significativo de las muestras y por la falta de las mismas que sirvieran como controles, pues a partir de la observación de los resultados o de su procesamiento estadístico no se puede discernir lo que es debido a la operación de la C.T. de lo producido por causas naturales (transporte de los organismos del mar hacia la costa, desoves muy locales, etc.) sobre la distribución y composición de especies, abundancia de organismos por especie o por estación, etc.

Los daños producidos por la C.T. sobre el ictioplancton son difíciles de cuantificar, pues no se sabe con certeza que

porcentaje de organismos mueren al pasar a través del sistema de enfriamiento, ni que cantidad adicional muere por la influencia del agua de descarga (por el choque térmico y/o por el cloro), ya que con solamente la observación de los organismos de las muestras no es posible saber cuáles de ellos fueron afectados en su sobrevivencia (larvas) o en su viabilidad para la eclosión (huevos).

Desafortunadamente tampoco ayuda el intentar correlacionar los resultados biológicos con los parámetros fisicoquímicos, porque sólo se tomarían en cuenta las abundancias de los organismos, y el daño perceptible ocasionado sobre éstos por la C.T. sería su disminución en abundancia por destrucción mecánica, pero la afectación en su viabilidad y/o sobrevivencia por niveles letales de temperatura y cloro es imperceptible\*, lo cual dificulta el análisis del área y grado de influencia por la pluma térmica.

A pesar de lo anterior, las correlaciones que pueden considerarse importantes son entre la temperatura, el oxígeno disuelto, la *DC1*, el número de especies, la diversidad y la densidad de organismos, puesto que el pH y la *DQO* al depender de las variaciones del oxígeno, guardan relaciones directas o inversas con los parámetros biológicos en función de las relaciones de éstos con el oxígeno.

---

\* Imperceptible en los organismos de las muestras porque los daños en su sobrevivencia, viabilidad, malformaciones, daños en tejidos, etc., se observan a "largo plazo" en relación tanto del momento en que sufrieron el acarreo o el efecto del agua de descarga, como del momento de la colecta.

Las relaciones inversas de la temperatura con los resultados biológicos muestran que el agua de descarga disminuye la abundancia y diversidad ictioplanctónica, lo cual debe ser principalmente por la menor productividad en dicha agua generada por la destrucción mecánica de los organismos, que por la temperatura en sí.

Tomando en cuenta la relación inversa del oxígeno respecto a la temperatura, y que una mayor productividad biológica marina ha de esperarse en lugares con mayores cantidades de oxígeno disuelto, aunque las correlaciones con los resultados de junio no manifiestan esto, las correlaciones para octubre sí, habiendo significancia de correlación entre la diversidad de especies y el oxígeno. La relación inversa observada entre la densidad de organismos y el oxígeno puede considerarse por la distancia a la costa, pues las mayores densidades fueron cercanas a ésta, mientras que con el oxígeno sucedió lo contrario además de que la distancia desde la costa no se empleó en las correlaciones.

La DCI mostró con los parámetros biológicos el mismo tipo de relaciones que el oxígeno.

La influencia del agua de descarga sobre el ictioplancton, peces juveniles y adultos de la zona pudiera ser principalmente por el cloro.

Las concentraciones de 0.16 - 0.35 mg/l de CLR observadas para toda la zona, pueden dañar principalmente a los huevos y larvas tempranas de pez, pues según Rosales (1986), la concentración letal ( $LC_{50}$ ) para huevos de anchoveta fue de 0.114 mg/l durante 24 h, para larvas de la misma de 1 a 3 días de edad fueron de 0.234 - 0.312 mg/l en 2 h, y para larvas de

gruñón (*Leuresthes tenuis*) fue de 0.255 mg/l también en 2 horas.

De no perder la viabilidad los huevecillos o morir las larvas, pudiesen padecer efectos subletales, o reducir sus tasas metabólicas y de crecimiento (Rosales, *op. cit.*).

La sensibilidad al cloro según la etapa de desarrollo varía para cada especie, ya que en el caso de la anchoveta norteña (*E. mordax*) la sensibilidad disminuye de huevo a larva y conforme es mayor ésta (Rosales, 1986), pero en otras especies sucede lo contrario siendo más sensible las larvas que los huevos, como en *Pleuronectes platessa* (Alderson, 1972), *Solera solea* (Alderson, 1974), o como en *Fundulus heteroclitus* (Middaugh *et al.*, 1978), en que las larvas de 7 días son más sensibles al cloro que las recién eclosionadas.

Se considera que las concentraciones de CLR previamente mencionadas no perjudicarán a los juveniles y adultos de los peces, ya que juveniles de chopas (*Girella nigricans*), un pez muy abundante en la zona de la C.T. Tijuana, tuvieron sobrevivencia del 100% a 0.5 mg/l de cloro y durante 1 hora (Treviño *et al.*, 1989); en este caso la  $LC_{50}$  fue de 1.15 mg/l de Cl para 1 hora.

El área marina a ser afectada mayormente por la temperatura del agua de descarga está comprendida en la zona de mezcla entre ambas masas de agua, que corresponde a la estación E6 y hasta la isoterma de 23°C (figs. 25 y 26), tomando esta temperatura como el límite que pueden tolerar los huevos de pez (Hempel, 1984). En esta zona los organismos marinos pudieran recibir en caso extremo un choque térmico de alrededor de 10°C (E6: 24.5°C, E8: 14.5°C, junio; E6: 27.2°C,

E8: 17°C, octubre).

Puede considerarse que el choque térmico producido por el agua de descarga no representa una amenaza para los juveniles y adultos de los peces, pues los juveniles de chopas pudieron sobrevivir sin problema (100%) a choques hasta de 18°C (de 18 a 36°C), correspondiendo a una temperatura mayor que la presente a la salida del condensador (31.5°C) y para una exposición hasta de 12 h (Treviño *et al.*, 1989); las temperaturas letales obtenidas para este caso fueron: 1 h  $TL_{50} = 37.7^{\circ}C$  y 12 h  $TL_{50} = 37.6^{\circ}C$ .

Aunado con lo anterior, se espera que la interacción de la temperatura y el cloro tampoco disminuyan la sobrevivencia de los peces por abajo del 80% (Treviño *et al.*, *op. cit.*), porque la temperatura en la zona de mezcla es  $\leq 28^{\circ}C$ , la concentración de cloro es de 0.32 mg/l y el tiempo de exposición es mucho menor a 1 hora.

Parámetros fisicoquímicos importantes en la sobrevivencia de los organismos tales como el  $O_2$  y la salinidad, en este caso no sufrieron alteraciones serias, pues sus valores cayeron dentro de niveles tolerables por ellos: salinidad: mín: 32.5‰ (E2, junio), máx: 36.4‰ (E11, octubre): oxígeno: mín: 6.2 mg/l (E3-E5, octubre), máx: 14 mg/l (E11, junio).

Por la protección que recibe el medio interno de un huevo de pez (por la membrana coriónica) respecto al agua de mar, la tolerancia a cambios en salinidad es alta para la mayoría de los huevos de peces marinos.

Huevos de especies completamente marinas como la platija (*P. platessa*) pueden ser mantenidos a una salinidad de 5-6‰. A

salinidades bajas el periodo de incubación tiende a prolongarse (Hempel, 1984).

Estudios realizados sobre los efectos conjuntos de la temperatura y la salinidad sobre el desarrollo de un pez marino (*Belone belone*), en que se tomaron en cuenta su sobrevivencia en la etapa neural, al momento de la eclosión y como larvas, indicaron que en todos esos atributos el efecto de la temperatura fue mucho más alto que el de la salinidad, por ejemplo, en el número de vértebras según los estudios de Fonds et al., en 1974 (cita en Hempel, *op. cit.*).

Respecto al consumo de oxígeno en la etapa de huevo en peces, se han reportado los siguientes valores:

Salmon: fertilización: 0.2  $\mu\text{l/h}$ ; eclosión: 3.4  $\mu\text{l/h}$ ;  
Arenque: fertilización: 0.01  $\mu\text{l/h}$ ; eclosión: 0.07  $\mu\text{l/h}$ .

En la sardina del Pacífico (*S. caerulea*) el consumo de  $O_2$  por mg de peso seco/hora es de 0.5  $\mu\text{l}$  a las 20 h de la fertilización, y hasta 1  $\mu\text{l}$  en la eclosión, alrededor de 60 h después. Los valores anteriores corresponden al consumo estándar, sin movimiento de los embriones, pero cuando comienza éste, el consumo de  $O_2$  (consumo activo) se incrementa por un factor de 2 a 3 según Hayes et al., (1951) y Lasker (1962), (ambas citas en Hempel, *op. cit.*).

La demanda de oxígeno del embrión temprano es parcialmente cubierta por la reservas de éste en el vitelo y particularmente en el fluido perivitelino. En consecuencia, condiciones anóxicas externas no inhiben el desarrollo temprano hasta la gastrulación (Hempel, *op. cit.*).

En peces marinos con huevos pelágicos el consumo de  $O_2$  no presenta serios problemas para el huevo por la saturación de  $O_2$  en el agua de mar y por la alta permeabilidad del corion (Hempel, 1984).

Una evaluación tentativa del impacto de la C.T. sobre el ictioplancton puede hacerse considerando sólo a los organismos que entran y salen del condensador (E2 y E5) y suponiendo que todos ellos mueren. Por ejemplo, en el primer muestreo en el canal de toma se obtuvo una abundancia de 83 organismos (=  $0.91 \text{ orgs/m}^3$ ), y en el canal de descarga (E5) de 22 (=  $0.24 \text{ orgs/m}^3$ ), observándose una reducción en éstos del 73.49% tan sólo por la destrucción mecánica en el condensador, y en el segundo muestreo los valores correspondientes fueron: canal de entrada: 742 orgs (=  $8.16 \text{ orgs/m}^3$ ); canal de salida: 11 orgs (=  $0.12 \text{ orgs/m}^3$ ); destrucción = 98.5%. De los organismos restantes no destruidos es muy probable que la mayor parte de ellos pereciera por las siguientes razones:

- 1) Para el caso de los huevos, aunque éstos no se destruyan pueden sufrir anomalías y mortalidad causadas por sacudimientos fuertes en las etapas tempranas de desarrollo; Hempel estableció en 1984 que en las 11 horas después de la fecundación el corion tiene muy baja resistencia, y hasta que el embrión ha rodeado la mitad del vitelo, la resistencia mecánica del corion es alta, pero en ambos casos la viabilidad del embrión es baja.
- 2) Incrementos de temperatura de  $13.9^\circ\text{C}$  ( $16.9^\circ$  a  $30.8^\circ\text{C}$ , junio) o de  $15^\circ\text{C}$  ( $16.5^\circ$  a  $31.5^\circ\text{C}$ , octubre) entre la entrada de organismos del mar al canal de toma (E1) y la salida del condensador (E3) y durante una exposición de 5-10 min aprox., puede tener diferentes grados de

letalidad según la especie y etapa de desarrollo del organismo, y en este caso las temperaturas de exposición están muy por encima de los rangos de tolerancia a ésta por los huevos de pez en general, que es de 7° - 23°C (Hempel, 1984).

Las larvas de peces pueden también sufrir reducciones en su sobrevivencia, pues la temperatura normal del agua (aclimatación) muestra valores medios (16.9° y 16.5°C), y los choques térmicos son medianamente altos (13.9° y 15°C), y comparativamente experimentos realizados con larvas de peces aclimatados a 15°C, con un choque de 15°C y durante 10 min dieron resultados de sobrevivencia por especie de: *Brevortia tyranus*: 20%, *Leiostomus xanthurus*: 50%, *Lagodon rhomboides*: 90% y *Paralichthys* spp.: 100% (Hoss et al., 1973).

Si las larvas de los peces no mueren por el choque térmico, éste sólo o en conjunción con el choque térmico que sufren los organismos al regresar a la temperatura en la que estaban inicialmente ( $\Delta T \approx 10^\circ\text{C}$ ; más la influencia mecánica), puede producir la mortalidad de las larvas por afectarse su equilibrio, quedar aturcidas, inmovilizadas e incapacitadas para evitar depredadores. El choque térmico de retorno a las condiciones ambientales puede tener mayor efecto cuando las temperaturas de aclimatación sean más bajas, en este caso de diciembre a abril (Hoss et al., *op. cit.*).

- 3) Las concentraciones de CLR medidas en el canal de descarga (0.32 - 0.35 mg/l, junio; 0.16 - 0.24 mg/l, octubre) y una exposición de 5-10 min. pueden afectar básicamente a los huevos y larvas tempranas de pez de 1

día (Rosales, 1986).

- 4) La mortalidad producida sobre el ictioplancton por la interacción Daño mecánico-Temperatura-Cloro pudiera ser total.

A pesar de que las cifras de  $2.38 \times 10^9$  orgs/año (daño actual) y  $3.58 \times 10^9$  orgs/año (daño futuro) del número de organismos que pueden ser eliminados por acarreo a la C.T. se vean enormes, el impacto real sobre sus poblaciones puede ser considerablemente menor de lo que parece por las siguientes razones:

- 1) En los peces marinos las etapas larvarias y de huevo presentan una alta mortalidad natural, pudiendo ser ésta hasta del 95% (Hunter, 1984).
- 2) El daño sobre los organismos en la zona de mezcla pudiera ser bajo, pues ella así como toda la costa de la región presenta alta energía en forma de oleaje, mediante el cual se produce de forma rápida: 1) la disipación del calor hacia la atmósfera, 2) la mezcla de las masas de agua y la dilución de concentraciones de cloro o temperaturas que les pudiesen ser letales, y 3) los tiempos de exposición a estos parámetros corresponden a ser bajos.
- 3) Como la mayoría de las especies pesqueras de la Corriente de California se mencionan en un estado moderadamente explotado (FAO 1981 y 1985), la mortalidad que puede estar produciendo la C.T. sobre las poblaciones de tales especies puede ser menos grave si su pesca es baja (MacCall et al., 1982). Además, a excepción de la

langosta y el abulón, las demás pesquerías del estado no se muestran amenazadas por sobreexplotación (Secretaría de Pesca, 1980-1988).

- 4) Para este trabajo no se tuvo conocimiento de especies de peces que tuvieran una distribución muy local respecto a la zona de influencia de la C.T. y que por ello pudieran verse seriamente afectadas. Más bien se observa que las especies involucradas tienen una distribución amplia (latitudinalmente y hacia mar abierto), y las especies más abundantes y con mayor valor comercial se distribuyen hasta zonas alejadas de la costa, fuera de la influencia de la C.T..
- 5) Los porcentajes del daño actual (0.0063% - 0.0107%) y futuro (0.0095% - 0.0161%) estimados para el impacto de las C.T.'s Tijuana y Rosarito II sobre el ictioplancton y en relación a las regiones 7 y 11 CalCOFI, a pesar de haber sido calculados con abundancias ictioplanctónicas de años diferentes, permiten observar que lo que pudieran eliminar las C.T.'s puede ser muy poco en proporción a lo que se produce; tales daños serán todavía menores para las especies que se distribuyen también en otras regiones del Area CalCOFI, en especial las pelágicas.
- 6) Aunque anteriormente se mencionó que de 5 a 10 minutos sufren los organismos de exposición al choque térmico (y a veces en sinergismo con el cloro) por su paso a través del condensador, 10 min se considera como máximo, porque en realidad el tiempo es considerablemente menor, ya que dentro del condensador tardan 40 segundos o tal vez menos, y al desplazarse en el canal de descarga (200 m) tardan aproximadamente 2 min, haciendo un total de casi 3

minutos.

- 7) Los condensadores de las nuevas unidades de la C.T. Rosarito II tendrán una tasa de recambio del agua más alta que la de las actuales unidades, porque serán más pequeños y con mejor eficiencia de condensación, tardando el agua (y los organismos) en atravesarlos alrededor de 20 segs. Además, ya no será empleado el cloro como biocida, sino será sustituido por retrolavado, es decir, choques térmicos previos a los condensadores, (comunicación personal de Juan Carlos Olvera, CFE-Instituto de Ingeniería, UNAM).

Considerando al ictioplancton en general, la sensibilidad de su afectación por la C.T. será mayor durante los meses de enero a mayo (pico de desove de todos tipos de peces, principalmente pelágicos con alto valor comercial) y de septiembre a octubre (pico de desove especialmente de peces planos).

En cuanto a su distribución espacial, los peces de tipo demersal (peces de piedras, peces planos, sciáenidos, etc.) son los que pueden ser mayormente afectados por sus desoves más cercanos a la costa, y por tanto a la C.T.

La sensibilidad del daño se considera por los picos de abundancia del ictioplancton para los periodos antes mencionados y porque las etapas planctónicas de los peces son las más frágiles, además de que se produce un daño a largo plazo por tratarse de especies con ciclos de vida largos (2-7 años) en relación a los demás organismos planctónicos (Lasker, 1984).

El daño directo por la C.T. sobre peces juveniles y adultos, mamíferos marinos y aves pudiera ser despreciable, porque se trata de organismos con alta movilidad, capaces de evitar condiciones desfavorables de alimento o ambientales, es decir, se alejarían del área si no es propicia para ellos.

No obstante lo anterior, para poder detectar repercusiones en las aves y mamíferos marinos, es obvio que primero debe esclarecerse el impacto de la C.T. sobre los niveles tróficos iniciales (fitoplancton y zooplancton) y después las subsecuentes relaciones tróficas, considerando la posible bioacumulación del cloro hasta llegar a los vertebrados superiores.

La posible repercusión sobre aves y mamíferos marinos por una C.T. costera debe contemplarse desde el momento de la selección del sitio para la construcción de ésta, por aspectos de las distribuciones de los organismos y si están siendo perjudicadas sus áreas de reproducción.

La zona de influencia por la futura descarga (simulaciones de CFE, fig. 23) será mayor a la actual (isoterma de 23°C), pero menor a las áreas definidas de 0.496 y 0.369 km<sup>2</sup> tomando como límite la temperatura que pueden tolerar los huevos de los peces. Además de que la descarga futura no tendrá cloro, puede establecerse que ésta no afectará a juveniles y adultos de peces, porque la temperatura de descarga (33.4°C, fig. 23) estará por abajo de lo que ellos pueden tolerar de 37.6°C (Treviño *et al.*, 1989) y por la alta movilidad de éstos.

El principal impacto de la C.T. Rosarito II puede ser por el acarreo del ictioplancton a los condensadores y la destrucción mecánica del plancton en general.

Se considera que la operación de la C.T. no perjudica de manera directa a las capturas de anchoveta, jurel y macarela, por que éstas se realizan alejadas de la zona de influencia de la C.T. hacia el Este o hacia el Sur, así como la explotación de langosta o sargazos gigantes (*Macrocystis pyrifera*) que es más hacia el Sur (Secretaría de Pesca, 1987b).

Rosarito no destaca a nivel pesquero, pero esto es porque recursos como los mejillones, almejas, erizos, etc., están sin explotarse, y por que no existen las características físicas para establecer una infraestructura portuaria como sucede en Ensenada, que es una bahía que permite la entrada y el resguardo de grandes barcos pesqueros; a pesar de ello, Rosarito puede ser importante ecológicamente como una fracción litoral en la que se lleve a cabo el reclutamiento de peces importantes comercialmente, y hacen falta más estudios ecológicos para saberlo.

El funcionamiento actual y futuro de la C.T. en Rosarito aparte de la mortalidad directa que puede producir sobre el ictioplancton, puede también perjudicarlo de forma indirecta al dañar a los organismos del fito y a otros del zooplancton, los cuales son vitales a densidades umbrales para la alimentación y sobrevivencia de las larvas de peces, y a pesar de que los invertebrados del zooplancton puedan presentar periodos de regeneración poblacional en días (o tal vez semanas), dichos lapsos pueden ser definitivos en la sobrevivencia de las larvas en la zona o masa de agua afectada (Hunter, 1984). Según lo anterior, otro criterio para la definición de la zona y el grado de influencia por el agua de descarga de una C.T. puede ser la densidad de organismos por litro del fito y zooplancton que sirven de alimento a las larvas y juveniles de los peces.

Para hacer un análisis más apropiado del impacto de la C.T. sobre una o varias especies pesqueras es necesario que se realicen estudios detallados de sus dinámicas poblacionales. MacCall et al (1982) recomiendan que como mínimo se conozcan las categorías y abundancias ictioplanctónicas eliminadas por acarreo a una C.T., la abundancia total desovada y la abundancia total de adultos de una especie dada, lo cual permitiría evaluar como impacto a corto plazo la pérdida equivalente de adultos de la población de peces; para la evaluación del impacto a largo plazo se necesitan adicionalmente las mortalidades de los adultos por pesca.

Otro argumento en apoyo a la posible baja repercusión de la C.T. Tijuana sobre las poblaciones de peces es que MacCall et al (*op. cit.*) evaluaron el impacto de una C.T. sobre el pez *Atherinops affinis* (Atherinidae), especie poco abundante respecto a muchas de la región, y obtuvieron que su población estaba cerca del 99% de su abundancia no impactada a pesar de los impactos producidos por pesca y C.T.'s.

Con los cálculos de las pérdidas equivalentes de adultos y tomando en cuenta sus valores comerciales, puede estimarse el daño económico pesquero producido por el impacto de la C.T. sobre las poblaciones de peces involucradas, tanto a corto como a largo plazo.

El que los recursos pesqueros no estén explotándose a su máximo rendimiento sostenido no es garantía de su estabilidad, pues los efectos de la C.T. sobre el ictioplancton, aunado a variaciones ambientales a gran escala y a otras fuentes de contaminación pueden producir serias mermas sobre las poblaciones relacionadas, ya que el éxito del reclutamiento de peces puede depender más por factores no densodependientes

(densidad del alimento, variaciones ambientales) que por la abundancia de sus desoves (Lasker, 1984).

Debe mencionarse que aunque se hable de un área marina afectada por la C.T., más bien debe hablarse de biomasa o número de organismos eliminados por día y por año, pues se trata de un proceso dinámico y el grado del daño variará según las densidades de organismos que se presenten por día y época del año a pesar de haber una misma área de influencia.

Si en los aproximadamente 30 años que lleva funcionando la C.T. en Rosarito no se han observado disminuciones de los recursos pesqueros (y atribuibles a la C.T.), para el futuro el efecto puede ser significativo con las ampliaciones en la central, porque además de los efectos de la C.T. sobre los recursos y el ecosistema marino se sumarán el del esfuerzo pesquero que aumenta cada año, así como el de la contaminación, ya que las playas de Rosarito se mencionan con alta contaminación local y por elementos tóxicos transportados por la Corriente de California desde las playas de E.U.A. tales como *Zn*, *Cu*, *Hg*, insecticidas, petróleo, etc. (SAHOP, 1980).

Es importante que aparte de hacerse más estudios del impacto de la C.T. sobre el medio marino, se efectúen también estudios de contaminación del mismo, ya que por ejemplo se deben conocer las fuentes y frecuencia de emisión de las grasas y aceites, y solicitar a los responsables o a las autoridades competentes se practiquen las medidas correctivas pertinentes.

Es muy importante concientizar a las autoridades involucradas con la protección ambiental, en que para la realización apropiada de estudios de impacto y conservación ambiental se

deben promover y apoyar los estudios para la prospección y diagnóstico de los recursos naturales del país.

En cuanto al aspecto legal, el agua de enfriamiento descargada por la C.T. Tijuana cumple en general con los límites de los parámetros fisicoquímicos establecidos para definir la aceptable calidad del agua.

A partir de los resultados obtenidos y considerando el proceso de enfriamiento en la C.T., no se puede responsabilizar a ésta por los altos valores de grasas y aceites medidos en octubre, lo cual a su vez, atenúa su responsabilidad por los correspondientes de la demanda química de oxígeno.

Es importante mencionar que de manera general todos los materiales contaminantes se desechan en cuerpos de agua, y como consecuencia de esto, el agua como factor decisivo para el desarrollo social y económico del país se ve grandemente afectada; por ello, ha sido necesario el establecimiento de leyes y reglamentos que regulen el uso y protejan el recurso hidráulico.

Dentro de las leyes y reglamentos que se han elaborado, y promulgado en el Diario Oficial de la Nación, para el manejo y la protección de los recursos naturales están: Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental (12/III/71), Ley Federal de Aguas (31/XII/71), Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas (marzo/73), Ley Federal de Protección al Ambiente (11/I/82) y la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (publicada en el Diario Oficial el 28/I/88 y puesta en vigor el 1/III/88).

Fue en la Ley Federal de Protección al Ambiente en donde aparecieron las primeras normas para protección del medio marino.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente define entre otros objetivos, los principios de la política ecológica general y regula los instrumentos para su aplicación; incluye entre algunos puntos importantes: Planeación Ecológica, Ordenamiento Ecológico, Criterios Ecológicos en la Promoción del Desarrollo, Regulación Ecológica de los Asentamientos Humanos, Evaluación del Impacto Ambiental, Normas Técnicas Ecológicas, Medidas de Protección de Areas Naturales, etc.

Esta ley, en cuanto a la prevención y control de la contaminación del agua y de los ecosistemas acuáticos, establece que el aprovechamiento del agua en actividades productivas susceptibles de producir su contaminación conlleva la responsabilidad del tratamiento de las descargas, para reintegrarla en condiciones adecuadas para su utilización en otras actividades y para mantener el equilibrio de los ecosistemas.

Corresponde a la SEDUE, en coordinación con la SARH y demás autoridades competentes, expedir las normas técnicas para el vertimiento de aguas residuales en redes colectores, cuencas, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, así como para infiltrarlas en terrenos. Considerando los criterios sanitarios que en materia de salubridad general establezca la Secretaría de Salud, así como los usos de las cuencas de aguas nacionales determinados por la SARH, la SEDUE determinará las Condiciones Particulares de Descarga y los sistemas de tratamiento que deberán instalar las dependencias

y entidades de la Administración Pública Federal, para descargar aguas residuales.

La Norma Técnica Ecológica NTE-CCA-001/88 fue puesta en vigor el 5 de agosto de 1988, y establece los límites máximos permisibles y los métodos para la determinación de contaminantes en las descargas de aguas residuales sobre cuerpos de agua, provenientes de centrales termoeléctricas convencionales; para el establecimiento de dichos límites se estudiaron las posibilidades técnicas de remoción de contaminantes que genera esta industria, de acuerdo con las experiencias nacionales y la bibliografía internacional al respecto; también se consideró la factibilidad técnica y económica de instrumentar procesos en el control de las fuentes generadoras.

Esta norma considera como parámetros para la definición de contaminación: pH, sólidos suspendidos totales, grasas y aceites, cobre, fierro, fosfato, y para las condiciones particulares de descarga: temperatura, cloro libre y demanda química de oxígeno. Como métodos para la determinación de estos parámetros se definen los correspondientes contenidos en las Normas Oficiales Mexicanas. Estas a su vez, se apoyan en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA y WPCF, 1985).

En relación a la contaminación marina por aguas de descarga, las Normas Mexicanas concuerdan con las del Derecho Internacional, tales como La Ley del Mar (ONU, 1985), en la cual en sus anexos I-III se consideran a todos los tipos de compuestos contaminantes que deben regularse en sus descargas, tales como el mercurio, cadmio, compuestos organohalogenados, materiales altamente radiactivos, sustancias y materiales

con especial cuidado como arsénico, plomo, cianuros, fluoruros, pesticidas; también considera las características fisicoquímicas y la composición de la materia descargada, las características del sitio de descarga y el método de depósito, y consideraciones generales tales como los posibles efectos sobre la vida marina, sobre otros usos del agua del mar (interferencia con la pesca o navegación, etc.) y la disponibilidad práctica de métodos de tratamiento desde tierra de las descargas.

Las normas actuales tanto internacionales como nacionales para prevenir, controlar y erradicar la contaminación son aceptables, pero deben mejorarse, ya que son apenas los objetivos de lo que se debe hacer, de lo que se quiere alcanzar, pero falta el cómo hacerlo; faltan más criterios por incluir para la protección del ambiente, en especial biológicos; falta la elaboración de más normas técnicas ecológicas que contengan valores de parámetros ambientales y biológicos que deban respetarse.

Respecto a esto último se destaca por ejemplo, que la norma técnica antes descrita aunque especifica los límites de los parámetros fisicoquímicos que definen la aceptable calidad de dicha agua, en función de la no afectación sobre las propiedades y los organismos del cuerpo receptor, no establece los límites tanto del número y porcentaje de organismos planctónicos por grupo (fito y zooplancton, e ictioplancton de manera particular) que deban ser acarreados al sistema de enfriamiento de una C.T., como de los que mueran por destrucción mecánica, temperatura y cloro.

En este sentido, lo anterior se propone para que se incluya en los criterios de normatividad. Como se aprecia, faltan muchos

estudios ambientales que ayuden a mejorarla, y como otro punto importante no solo para el mejoramiento de la legislación en materia ambiental, sino para el desarrollo social y el apropiado manejo de los recursos, faltan medidas para la mitigación de los impactos, y el desarrollo de técnicas y la formación de personal capacitado para la planeación de actividades y obras humanas que tomen en cuenta el ordenamiento ecológico.

A pesar de que la legislación ambiental nacional tenga limitaciones, debemos esforzarnos para que se haga completamente efectiva.

## 6. CONCLUSIONES

- 1) De las 11 estaciones estudiadas, de la E1 a la E6 definieron la Zona de Influencia y de la E7 a la E11 definieron la Zona de No Influencia por el agua de descarga de la C.T. Tijuana.
- 2) El área de influencia máxima por la descarga térmica queda comprendida por el canal de descarga, zona de mezcla y zona de rompientes del oleaje, aproximadamente a 400 m al Sureste paralelo a la costa, y 200 m al Suroeste perpendicular a la misma, cubriendo un área promedio de 0.1875 km<sup>2</sup>.
- 3) Los efectos del agua de descarga sobre el medio marino son atenuados por las características propias de la región, porque la costa presenta una morfología totalmente abierta que permite que exista intenso oleaje, el cual produce de forma rápida la disipación de calor hacia la atmósfera, la mezcla de las masas de agua y la dilución del cloro y la temperatura a niveles no letales, produciéndose a su vez tiempos bajos de exposición a estos parámetros para los organismos en el área marina

receptora.

- 4) Los parámetros fisicoquímicos que permitieron diferenciar las zonas fueron: temperatura, oxígeno disuelto, pH, demanda química de oxígeno (*DQO*) y demanda química de cloro (*DCI*).
- 5) La influencia principal por el agua de descarga sobre el medio marino, en cuanto a los parámetros fisicoquímicos es: incremento en temperatura y *DQO*, y disminución en el oxígeno disuelto, el pH y la *DCI*.
- 6) Los valores de cloro libre residual fueron bajos para las 11 estaciones en general, pero por desconocerse su difusión no se pudo determinar su área de influencia, la cual es muy posible que sea mayor a la zona de influencia térmica.
- 7) Los valores de grasas y aceites fueron mayores en la zona de no influencia que en la de influencia, lo cual pudo deberse por derrames accidentales de combustóleo por PEMEX y/o CFE, y no por el proceso de enfriamiento en la C.T.
- 8) Los valores altos de *DQO* en el agua del canal de descarga se atribuyen al alto contenido de grasas y aceites, a la baja concentración de oxígeno disuelto y a la disminución todavía mayor de éste por el incremento de temperatura.
- 9) Los valores menores de *DCI* en la zona de influencia respecto a la de no influencia denotan la disminución en la abundancia de los organismos planctónicos por el agua de descarga.

- 10) La zona de influencia térmica real por el agua de descarga se considera a ser menor al área total promedio de  $0.1875 \text{ km}^2$ , si se delimita hasta la isoterma de  $23^\circ\text{C}$ , que es la temperatura máxima que pueden tolerar los huevos de peces marinos.
- 11) Se considera que del agua de descarga, el cloro tenga mayor efecto que la temperatura sobre los organismos marinos por la reducida área de influencia térmica.
- 12) Las concentraciones de 0.16 a 0.35 mg/l de cloro libre residual medidos para la zona en general, pueden dañar básicamente a los huevos y larvas tempranas de los peces.
- 13) El oxígeno y la salinidad del agua no sufren variaciones que pudieran amenazar la sobrevivencia del ictioplancton.
- 14) Para los muestreos de junio y octubre, la densidad ictioplanctónica aumentó del mar hacia la costa, mientras que la diversidad de especies disminuyó, habiendo hacia la costa predominio en abundancia de peces planos.
- 15) Del ictioplancton que sufrió acarreo a la C.T. se obtuvieron los porcentajes de destrucción mecánica de 73.49% y 98.5% para junio y octubre respectivamente, y suponiendo la muerte del 100% de los organismos, se obtuvieron como daño promedio actual por la C.T. Tijuana de  $2.38 \times 10^9$  orgs/año, y como daño promedio futuro por la C.T. Rosarito II de  $3.58 \times 10^9$  orgs/año.
- 16) Los porcentajes de daño actual por la C.T. Tijuana de 0.0063% - 0.0107% y futuro por la C.T. Rosarito II de 0.0095% - 0.0161% respecto a las abundancias del

ictioplancton de las regiones 7 y 11 CalCOFI respectivamente, muestran una eliminación muy reducida de éste por el impacto de las C.T.'s.

- 17) El impacto de las C.T.'s sobre las poblaciones de peces se considera que sea bajo, porque las especies involucradas tienen amplia distribución tanto hacia mar abierto como a lo largo de las costas de Baja California (Méx.) y California (E.U.A.), y las áreas de influencia de las C.T.'s son pequeñas respecto a tales distribuciones.
- 18) Adicional a lo anterior, está el que los principales recursos de peces (pelágicos y demersales) de la región se definen en un estado sub y moderadamente explotado, además de que no se reportan especies con distribución muy local y en situación amenazada o en peligro de extinción.
- 19) Como en Rosarito no se practica actividad pesquera alguna, se descarta la existencia de daños socioeconómicos sobre su población en caso de que los hubiere.
- 20) Se considera despreciable el daño directo sobre peces adultos, aves y mamíferos marinos por su alta movilidad y capacidad de evitar condiciones desfavorables de alimento o ambientales; sin embargo, su protección contra el daño de una C.T. costera debe preverse desde la selección del sitio y construcción de ésta, por consideración de sus distribuciones y áreas de reproducción.
- 21) Los parámetros fisicoquímicos del agua de descarga de la

C.T. Tijuana cumplen en general con las normas ambientales y con las condiciones particulares de descarga establecidas por la legislación vigente.

- 22) Tomando en cuenta la distribución de las grasas y aceites antes descrita, y su acarreo a los canales de toma y descarga de la C.T., no se puede responsabilizar a ésta por contaminación marina debida a grasas y aceites, lo cual a su vez disminuye su responsabilidad legal por los altos valores de *DQO* medidos en el canal de descarga.
  
- 23) Debe recordarse que aunque en la actualidad el impacto de la C.T. sobre el ecosistema y recursos marinos no sea considerable, ello no es garantía de su estabilidad para el futuro, porque la operación de la C.T. representa sólo una fracción del daño al ambiente marino, daño que es acrecentado por contaminantes arrojados al mar y transportados desde las costas de E.U.A. hasta las mexicanas o por la contaminación ejercida por industrias (PEMEX, plantas procesadoras de pescado, etc.), además de que la actividad pesquera aumenta progresivamente, y por ello, cada fuente de daño al ecosistema marino puede tomar una parte relevante en su estabilidad futura.

## 7. RECOMENDACIONES

Para hacer una cuantificación más apropiada del daño real que puede estar ocasionando la C.T. sobre el ictioplancton es necesario realizar muestreos mensuales durante un año como mínimo, y aún a intervalos quincenales o hasta semanales en las épocas de mayor desove (enero-abril, septiembre-octubre), con interés especial en los canales de toma y descarga de la C.T. para precisar el porcentaje y el número de organismos que son destruidos o muertos por acción mecánica, temperatura y cloro, al pasar por el condensador, y poder así estimar su promedio anual de eliminación por acarreo.

Sería conveniente también conocer mejor la hidrodinámica del agua de descarga en relación a las corrientes litorales para todos los meses, y a partir de ello determinar el comportamiento de la difusión térmica y del cloro, el área real de influencia (estableciéndose los niveles letales de temperatura y cloro) y sobre todo, los tiempos de exposición a que pueden estar sometidos los organismos a tales condiciones en función de la mezcla de las masas de agua. Para conocer mejor la difusión del agua de descarga ayudaría el marcar partículas o colorear dicha agua.

Considerando lo anterior, sería necesario aumentar y reubicar las estaciones de muestreo dentro y fuera del área de influencia por temperatura y cloro con el propósito de comparar mejor los parámetros fisicoquímicos y biológicos entre ambas zonas mediante métodos estadísticos (componentes principales, análisis de cúmulos, análisis multivariado, ANOVA, etc.), y con el propósito de discernir las variaciones en la densidad y diversidad de los organismos desde la costa hacia mar abierto por causas naturales de las respectivas variaciones producidas por el agua de descarga.

Como antes se mencionó, son necesarios más estudios sobre contaminación marina, y deben promoverse más los estudios enfocados a diagnosticar los recursos naturales. Son necesarios también estudios de dinámica poblacional de diferentes especies de peces, para la evaluación del impacto ambiental y socioeconómico generado sobre las pesquerías por la actividad humana.

A pesar de las amplias distribuciones de la gran mayoría de las especies, se puede hacer una evaluación más local del impacto ambiental sobre el medio marino con la ayuda de técnicas como la percepción remota, comparando el área de influencia de la C.T. con las áreas de mayor productividad biológica a nivel costero (zonas de crianza y reclutamiento de especies), para lo cual también sería necesario hacer estudios de la dinámica de los ciclos de producción y flujos de energía en el ecosistema marino costero no perturbado, y compararlo con los ciclos y flujos que interrumpe(a) la C.T. Tijuana (Rosarito II), por la biomasa que destruye(a) por día y año.

Tomando en cuenta la dificultad que representa la

determinación taxonómica de las especies ictioplanctónicas y la carencia de trabajos y especialistas dedicados a ello en México, es recomendable hacer arrastres de neuston, porque especialmente los juveniles y adultos de los peces son más fáciles de determinar que los huevos, y con esa ayuda pudiera hacerse más fácil el reconocimiento de estos últimos, y además, al colectarse organismos en diferentes etapas de desarrollo se podrían obtener las secuencias de desarrollo de las especies involucradas. Es conveniente también hacer arrastres a diferentes profundidades, empleando diferentes artes de colecta y aberturas de malla.

Por otro lado, si aún así hubiera dificultad para la determinación del ictioplancton y con la intención de evaluar el impacto ambiental, entonces convendría manejar sólo las densidades de los organismos entre las estaciones de muestreo olvidándose de los índices de diversidad. En este caso el análisis sería sólo para protección del ambiente sin poder enfocarlo para peces comerciales ni para un posible análisis del efecto social y económico.

A pesar de esta desventaja, se obtiene mayor rapidez en:

- a) El procesamiento de los resultados
- b) El evaluar el grado del daño (si es o no grave) y
- c) El concentrarse en las principales causas de daño sobre las especies involucradas para implementar posteriormente las medidas correctivas pertinentes.

Algo implícito con lo anterior son los bioensayos con ictioplancton de la zona, los cuales deben realizarse con organismos en diferentes etapas de desarrollo, y en 2 partes:

- 1) Simulando las condiciones del acarreo de los organismos a través del condensador (efectos mecánicos, choque térmico, cloro y equivalente tiempo de exposición) para deducir su porcentaje de sobrevivencia y eclosión viable ante dicho acarreo.
  
- 2) Habiendo calculado el tiempo de exposición máximo a que pueden ser sometidos los organismos a la influencia del agua de descarga (a partir del comportamiento hidrodinámico de ésta), y ensayando con las temperaturas y concentraciones de cloro mínimas y máximas producidas por la C.T., se establecerían los niveles letales (disminución en la sobrevivencia o eclosión viable) o subletales (malformaciones, alteraciones metabólicas, disminución en talla, daños a largo plazo o crónicos sobre sus tejidos) de éstos sobre los organismos.

Para obtener dichos niveles letales y subletales es esencial trabajar con varios grupos de organismos simultáneamente (fito y zooplancton, bentos, necton) pues mientras en ciertos momentos no es perceptible el daño en algún tipo de organismos, en otros ya es evidente, pudiéndose además corroborar con los diferentes organismos el grado del daño producido sobre el ecosistema marino por relaciones diferentes de *temperatura-cloro-tiempo de exposición*.

La aplicabilidad de estos bioensayos está enfocado para monitoreos ambientales, con los cuales, mediante la comparación de los parámetros fisicoquímicos con las densidades, diversidades y daños crónicos observables en los grupos de organismos en general, se puede definir adecuadamente el grado y la amplitud de afectación sobre el ambiente marino por una C.T. dada, propiciando el

establecimiento y modificación de normas ambientales en cuanto a los niveles máximos permisibles para parámetros fisicoquímicos ocasionados por obras humanas en cuerpos de agua marinos y sus condiciones particulares de descarga.

Finalmente, como medidas de mitigación del impacto de la C.T. se proponen:

- 1) Para amortiguar el problema del acarreo de organismos al condensador.- Ampliar el canal de toma a lo ancho lo más posible para disminuir la velocidad de flujo del agua que es tomada para enfriamiento, y con ello permitir que organismos con poca movilidad puedan evitar el ser acarreados.
- 2) Para abatir la temperatura del agua de descarga:
  - a) Aumentar la longitud del canal de descarga otros 200 m, ya que si con su longitud actual se disminuye alrededor de 6°C la temperatura del agua en cuestión, con la longitud adicional se podrían disminuir otros 6°C al agua.
  - b) Implementar un sistema de cascadas en el canal de descarga.

## 8. REFERENCIAS

- Ahlstrom E.H. and R.C. Counts, 1955. Eggs and larvae of the Pacific hake *Merluccius productus*. Fish. Bull. U.S. 56: 295-329.
- Ahlstrom E.H., 1958. Development and distribution of *Vinciguerria lucetia* and related species in the Eastern Pacific. Fish. Bull., U.S. 58: 363-416.
- ———, 1968. An evaluation of the Fishery Resources Available to California Fishermen. University of Washington. Publication in Fisheries: New Series. Vol. IV: 65-80.
- ———, 1969. Remarkable movements of oil globules in eggs of bathylagid smelts during embryonic development. Jour. Mar. Biol. Assoc. India 11(1 and 2): 206-217.
- ———, 1973. Handling the collections ashore. En: Hempel G. (Ed.), 1973. Fish egg and larval surveys (Contributions to a manual). FAO Fish. Tech. Pap. (122): 27-32.

- Ahlstrom E.H., K. Sherman and P.E. Smith, 1973. Seagoing operations in Ichthyoplankton surveys. En Hempel G. (Ed.), 1973. Fish egg and larval surveys (Contributions to a manual). FAO Fish. Tech. Pap. (122): 14-26.
- Ahlstrom E.H. and H.G. Moser, 1980. Characters useful in identification of pelagic marine fish eggs. CalCOFI Rep., Vol. XXI: 121-131.
- Ahlstrom E.H., K. Amaoka, D.A. Hensley, H.G. Moser and B.Y. Sumida, 1983. Pleuronectiformes: Development. En Moser et al. (ed.), 1984. Ontogeny and Systematics of Fishes. American Society of Ichthyologists and Herpetologists. Special Publication (1): 640-669.
- Alderson R., 1972. Effects of low Concentrations of free Chlorine on Eggs and Larvae of Plaice (*Pleuronectes platessa* L.) pp: 312-315. En: M. Ruivo (ed): Marine Pollution and Sea Life. London: Fishing News (books).
- ———, 1974. Seawater Chlorination and the Survival and Growth of the Early Developmental Stages of Plaice (*P. platessa* L.) and Dover Sole (*Solea solea* L.). Aquaculture 4: 41-53.
- Almanza R. y S. López, 1975. Radiación solar global en la República Mexicana mediante datos de insolación. Publicación No. 357, octubre, Instituto de Ingeniería, UNAM. 7 pp. y figuras.
- Ayala G.W., 1983a. Datos de temperatura del Estado de Baja California Norte. Instituto de Geografía, UNAM. Vol. 2. (sin número de páginas).

- \_\_\_\_\_, 1983b. Datos de precipitación del Estado de Baja California Norte. Instituto de Geografía, UNAM. Vol. 2. (sin número de páginas).
- American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Control Federation, 1985. Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. 1268 pp.
- Bailey R.M., et al., 1970. A list of Common and Scientific names from the U.S.A. and Canada. American Fisheries Society. Special Publication No 6. Washington D.C., 150 pp.
- Capuzzo, J.M., 1977. The effects of free chlorine and chloramine on growth and respiration rates of larval lobsters (*Homarus americanus*). Water Research. 11: 1021-1024.
- \_\_\_\_\_, 1979. The effects of temperature on the toxicity of chlorinated cooling waters to marine animals. A preliminary review. Mar. Poll. Bull. 10: 45-47.
- Célis-Ceseña, R. y B. S. Alvarez, 1975. Distribución superficial de algunos parámetros hidrológicos físicos y químicos en el Estero de Punta Banda, B.C. en primavera y verano. Revista Ciencias Marinas, Vol. 2, No. 1, junio 1975.
- Comisión Federal de Electricidad, 1986. Estudios de difusión térmica para la ampliación de la C.T. Tijuana. Gerencia de Proyectos Hidroeléctricos, Subgerencia de Ingeniería Preliminar Civil y Geotecnia, febrero y julio

- 1986.
- \_\_\_\_\_, 1987. Gerencia de Proyectos Termoeléctricos. Central Termoeléctrica Rosarito II (2 x 160 MW). Estudio de protección al ambiente marino y a la Planta Termoeléctrica en Rosarito. Especificación CFE-ROII-I-86-M001, enero 1987.
  - Deevey E.S., 1947. Life tables for natural populations of animals. Quarterly Review of Biology, 22, 283-314. 4.5.1.
  - Fahay M.P., 1983. Journal of Northwest Atlantic Fishery Science. Vol. 4, Jul. 1983. Northwest Atlantic Fisheries organization.
  - FAO, 1981. Atlas de los recursos vivos del mar. Preparado por el departamento de pesca de la FAO. Organización de las naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Colección FAO: Pesca. Roma, 1981. 12 pp. y mapas.
  - FAO, Marine Resources Service, Fishery Resources and Environmental Div., 1985. Review of the State of World Fishery Resources. FAO Fish. Circ. (710) Rev. 4: 61 pp.
  - García E., 1987. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köpen. Publicaciones del Instituto de Geografía. 217 pp.
  - Goldman, J.C., 1979. Chlorine in the marine environment. Oceanus: 22(3): 36-43.
  - Gómez-Valdez J. y Vélez-Muñoz H., 1982. Variaciones

estacionales de temperatura y salinidad en la región costera de la Corriente de California. Revista Ciencias Marinas, Vol. 8, No. 2, pp. 167-178, diciembre 1982.

- Grijalva C.J.M., R.C. Longoria y G. Hamman, 1985. Temperatura y visibilidad en la Bahía de Todos Santos, B.C. México. Octubre de 1982 a septiembre de 1983. Revista Ciencias Marinas, Vol. 11, No. 1, abril 1985.
- Hempel Gotthilf, 1984. Early Life History of Marine Fish. The Egg Stage. Wash. Sea Grant Program. Univ. Wash. Press., Seattle, Washington. 70 pp.
- Hoss D.E., W.F. Hettler and L.C. Coston, 1973. Effects of Thermal Shock on Larval Estuarine Fish. Ecological Implications with Respect to Entrainment in Power Plant Cooling Systems. pp: 359-371. En Blaxter J.H.S. (ed) International Symposium on the Early Life History of Fish. Oban, Scotland 1973. Berlin Springer-Verlag, 765 pp.
- Hunter John R., 1984. Feeding Ecology and Predation of Marine Fish Larvae: pp. 33-77. En: R. Lasker (ed): Marine Fish Larvae. Wash. Sea Grant Program. Univ. Wash. Press., Seattle, Washington. 131 pp.
- King J.E., 1964. Seals of the World. Trustees of the British Museum (Natural History) London, pp. 11-13, 51-56.
- Krebs C.J., 1985. Ecología - Estudio de la Distribución y la Abundancia. Harla, México, pág. 502.

- Laroche W.A., W.F. Smith-Vaniz and S.L. Richardson, 1983. Carangidae: Development. En: Moser et al., (ed), 1984. Ontogeny and Systematics of Fishes. American Society of Ichthyologists and Herpetologists. Special Publication (1): 510-533.
- Lasker R., 1984. The Role of a Stable ocean in Larval Fish Survival and Subsequent Recruitment: pp: 79-87. En: R. Lasker (ed). Marine Fish Larvae: Wash. Sea Grant Program. Univ. Wash. Press. Seattle, Washington. 131 pp.
- Loeb V.J., P.E. Smith and H.G. Moser, 1983. Geographical and Seasonal Patterns of Larval Fish Species Structure in the California Current Area, 1975. En: Collected Reprints 1983: Reprint No. 8328. National Marine Fisheries Service. Southwest Fisheries Center. La Jolla, California, E.U.A. pp: 132-150.
- MacCall A.D., K.R. Parker, R. Leithiser and B. Jessee, 1982. Power Plant Assessment: A Simple Fishery Production Model Approach. En: Collected Reprints 1983: Reprint No. 8333. National Marine Fisheries Service. Southwest Fisheries Center. La Jolla, California, E.U.A. pp: 613-619.
- McGowan M.F. and F.H. Berry, 1983. Clupeiformes: Development and Relationships. En: Moser et al., (ed), 1984. Ontogeny and Systematics of Fishes. American Society of Ichthyologists and Herpetologists. Special Publication (1): 108-126.
- Middaugh D.P., J.M. Dean, R.J. Domey and G. Floyd, 1978.

Effect of Thermal Stress and Total Residual Chlorination on Early Life Stages of the Mummichog (*Fundulus heteroclitus*). Mar. Biol. 46(1): 1-8.

- Miller D.J., 1952. Development through the pro-larval stage of artificially fertilized eggs of the Pacific sardine, *Sardinops caerulea*. Calif. Fish. Game 38(4): 587-595.
- Moser H.G., E.H. Ahlstrom and E.M. Sandknop, 1977. Guide to the Identification of Scorpionish Larvae (Family Scorpaenidae) in the Eastern Pacific with comparative notes on species of *Sebastes* and *Heliocolenus* from other oceans. NOAA Technical Report, NMFS Circular 402. 71 pp.
- Moser H.G., E.H. Ahlstrom and J.R. Paxton, 1983. Myctophidae: Development. En: Moser et al. (ed), 1984. Ontogeny and Systematics of Fishes. American Society of Ichthyologists and Herpetologists. Special Publication (1): 218-239.
- Moser H.G., W.J. Richards, D.M. Cohen, M.P. Fahay, A.W. Kendall and S.L. Richardson, 1984. Ontogeny and Systematics of Fishes. Based on An International Symposium dedicated to the Memory of Elbert Halvor Ahlstrom. August 15-18, 1983. La Jolla, California, E.U.A.. National Marine Fisheries Service, National Oceanic and Atmospheric Administration, United States Dep. of Commerce. American Society of Ichthyologists and Herpetologists. Special Publication Number 1, 760 pp.
- Parker R., 1976. Estadística para biólogos. Barcelona, Omega. 136 pp.

- Parrish H.R., S.C. Nelson and A. Bakun, 1981. Transport Mechanisms and Reproductive Success of Fishes in the California Current. En: Collected Reprints 1981: Reprint No. 8150. National Marine Fisheries Service. Southwest Fisheries Center. La Jolla, California, E.U.A. pp: 175-203.
  
- Peña S.P. y L.H. Ramírez, 1987. Estudio de la Obra de la C.T. Tijuana en Rosarito, B.C. (Informe final), Proyecto 5314. Instituto de Ingeniería, UNAM. 240 pp. y Planos.
  
- Rosales C.J.A., 1986. "Efecto de la cloración del agua de mar en la supervivencia y crecimiento de huevos y larvas cultivadas en laboratorio de la anchoveta norteaña (*E. mordax*) y de larvas de grujón (*L. tenuis*), con referencia a sistemas de enfriamiento de centrales generadoras de electricidad". Tesis de Maestría en Ciencias en Oceanografía, con opción en Ecología Marina. C.I.C.E.S.E., Ensenada, B.C., Méx. 115 pp.
  
- Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, 1980. Ecoplán del Estado de Baja California. Dirección General de Ecología Urbana, 225 pp.
  
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, 1981. Reglamento para la prevención y control de la contaminación del agua. Series: Normatividad Ecológica.
  
- Secretaría de Gobernación, 1988. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, 138 pp.

- Secretaría de Gobernación, 1988. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Norma Técnica Ecológica, NTE-CCA-001/88. Diario Oficial, 4/08/88.
- Secretaría de Industria y Comercio, Subsecretaría de Pesca, Instituto Nacional de Pesca, 1976. Catálogo de pees marinos mexicanos. 462 pp.
- Secretaría de Pesca, 1980. Anuario Estadístico de Pesca 1979. Dir. Gral. de Informática y Estadística, Méx. D.F. Cap. I, págs. 51-441.
- ———, 1981. Anuario Estadístico de Pesca 1980. Dir. Gral. de Informática y Estadística, Méx. D.F. Cap. I: 51-600.
- ———, 1982. Anuario Estadístico de Pesca 1981. Dir. Gral. de Informática y Estadística, Méx. D.F. Cap. I: págs: 99, 100, 370, 371 y 420.
- ———, 1983. Anuario Estadístico de Pesca 1982. Dir. Gral. de Informática y Estadística, Méx. D.F. Cap. I: 19-238.
- ———, 1984. Anuario Estadístico de Pesca 1983. Dir. Gral. de Informática y Estadística, Méx. D.F. Cap. I: 21-95.
- ———, 1985. Anuario Estadístico de Pesca 1984. Dir. Gral. de Informática y Estadística, Méx. D.F. Cap. I: 73-125.

- \_\_\_\_\_, 1986. Anuario Estadístico de Pesca 1985. Dir. Gral. de Informática y Estadística, Méx. D.F. Cap. I: 73-125.
- \_\_\_\_\_, 1987a. Análisis de la actividad Pesquera 1986. Sistema Nacional Integrado de Información del Sector Pesca. Dir. Gral. de Informática, Estadística y Documentación.
- \_\_\_\_\_, 1987b. Carta básica nacional de información pesquera. Dirección General de Informática, Estadística y Documentación.
- \_\_\_\_\_, 1988. Análisis de la Actividad Pesquera 1987. Sistema Nacional Integrado de Información del Sector Pesca. Dirección General de Informática, Estadística y Documentación.
- Secretaría de Programación y Presupuesto, 1981a. Manual de Estadísticas Básicas del Estado de Baja California. Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática, México, D.F. Tomo I, 422 pp.
- \_\_\_\_\_, 1981b. Carta Hidrológica de Aguas Superficiales. Tijuana I11-11, 1:250 000. Dirección General de Geografía del Territorio Nacional.
- \_\_\_\_\_, 1984. Síntesis Geográfica del Estado de Baja California. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México, D.F., 133 pp. y mapas.
- Stevens E.G. and H.G. Moser, 1982. Observations on the

- early life history of the Mussel Blenny, *Hypsoblennius jenkinsi*, and the Bay Blenny, *Hypsoblennius gentilis*, from specimens reared in the laboratory. CalCOFI Rep., Vol. XXIII: 269-275.
- Steel R. y Torrie J., 1985. Bioestadística: Principios y Procedimientos. Mc Graw-Hill. págs. 55-63.
  - Strickland J.A.H. and T.R. Parsons, 1979. A practical handbook of Seawater Analysis. Fisheries research board of Canada, Ottawa, 310 pp.
  - Sumida B.Y., E.H. Ahlstrom and H.G. Moser, 1979. Early development of seven flatfishes of the eastern North Pacific with heavily pigmented larvae (Pisces, Pleuronectiformes). Fish. Bull. U.S. 77(1): 105-145.
  - Sverdrup H.U., M.W. Johnson and R.H. Fleming, 1970. The Oceans: Their physics, chemistry and general biology. Prentice Hall, Inc. 1060 pp.
  - Treviño A.L., S. Guerrero Sánchez, L. Sosa Rosas, F.U. Salinas Velázquez y A. Garduño Mendoza, 1988. "Estudio de Protección al ambiente marino y a la Central Termoeléctrica en Rosarito, B.C.". Informe Parcial, Instituto de Ingeniería, UNAM. Proyecto 8334. 186 pp.
  - Treviño A.L., S. Guerrero Sánchez, L. Sosa Rosas, F.U. Salinas Velázquez y A. Garduño M., 1989. "Estudio de Protección al ambiente marino y a la Central Termoeléctrica en Rosarito, B.C.". Informe Final, Instituto de Ingeniería, UNAM. Proyecto 8334, 373 pp.

- Tuck G.S. and H. Heinzel, 1980. A field guide to the Sea birds of Britain and the World. William Collins, Son and Co. LTD. Glasgow, 292 pp.
- United Nations Organization, 1985. The Law of the Sea: Pollution by Dumping. Legislative History of Articles 1, Paragraph 1(5), 210 and 216 of the United Nations Convention on the Law of the Sea. Office of the Special Representative of the Secretary-General for the Law of the Sea. New York. 77 pp.
- Urbán R.J. y A. Aguayo Lobo, 1985. Cetáceos observados en la Costa Occidental de la península de Baja California, Méx. Sep. 1981-ene 1985. Memorias de la X Reunión Internacional sobre Mamíferos Marinos, 1985. Secretaría de Pesca. Universidad Autónoma de Baja California Sur, Secretaría de Marina. págs: 93-118.
- Warren V. and M.J. Hammer, 1985. Water supply and Pollution Control. Harper and Row Publishers, New York. 4th edition, 797 pp.
- Washington B.B., H.G. Moser, W.A. Laroche and W.J. Richards, 1983. Scorpaeniformes: Development. En: Moser et al. (ed), 1984. Ontogeny and Systematics of Fishes. American Society of Ichthyologists and Herpetologists. Special Publications (1): 405-428.
- White B.N., R.J. Lavenverg and G.E. McGowen, 1983. Atheriniformes: Development and Relationships. En: Moser et al. (ed), 1984. Ontogeny and Systematics of Fishes. American Society of Ichthyologists and Herpetologists. Special Publications (1): 355-362.

# ANEXO I

## LISTA DE FIGURAS

No. Figura			Pág.
1	Volumen de la producción pesquera por principales peces para Baja California.		143
2	Volumen de la producción pesquera por principales peces para Baja California.		144
3	Volumen de la producción pesquera para otras especies de Baja California.		145
4	Valor de la producción pesquera por principales especies para Baja California.		146
5	Valor de la producción pesquera por principales especies para Baja California.		147
6	Volumen y valor de la producción pesquera por principales peces para la oficina de Ensenada, B.C.		148
7	Volumen y valor de la producción pesquera para otras especies, oficina de Ensenada, B.C.		149
8	Volumen y valor de la producción de sargazos para la oficina de Ensenada, B.C.		150

FIG 1. VOLUMEN DE LA PRODUCCION PESQUERA  
 POR PRINCIPALES PECES PARA  
 BAJA CALIFORNIA

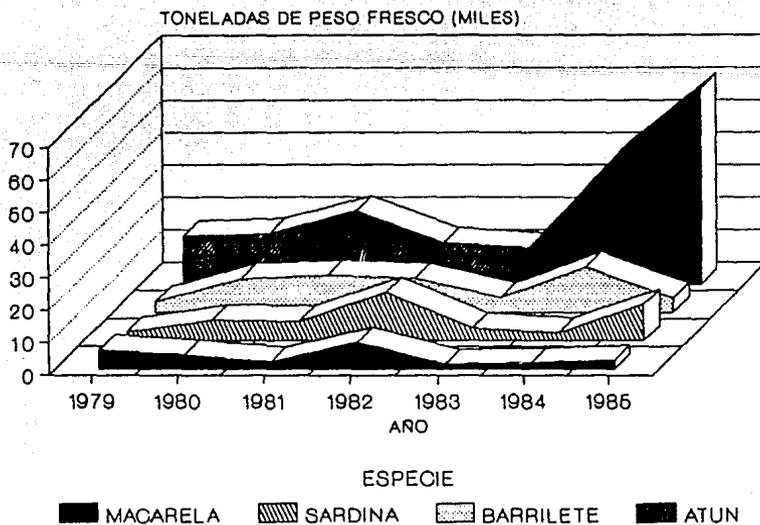
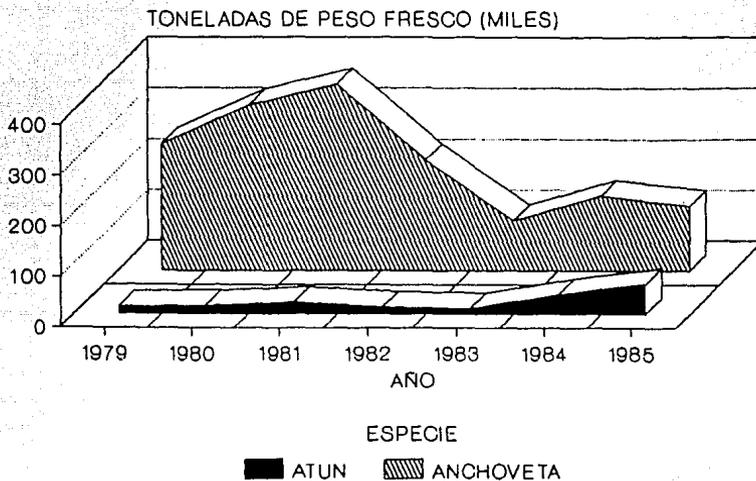


FIG 2. VOLUMEN DE LA PRODUCCION PESQUERA  
POR PRINCIPALES PECES PARA  
BAJA CALIFORNIA

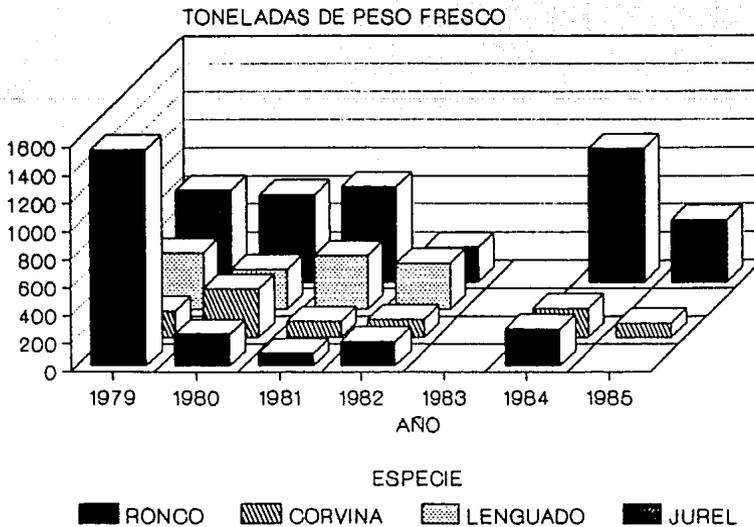
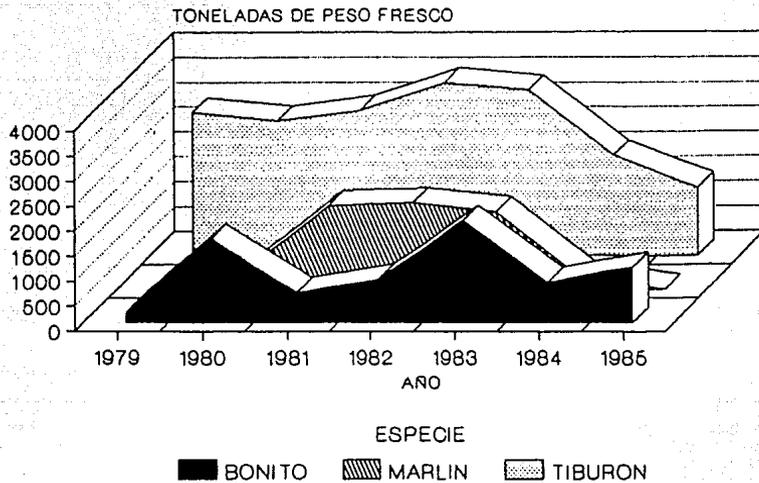


FIG 3. VOLUMEN DE LA PRODUCCION PESQUERA PARA OTRAS ESPECIES DE BAJA CALIFORNIA

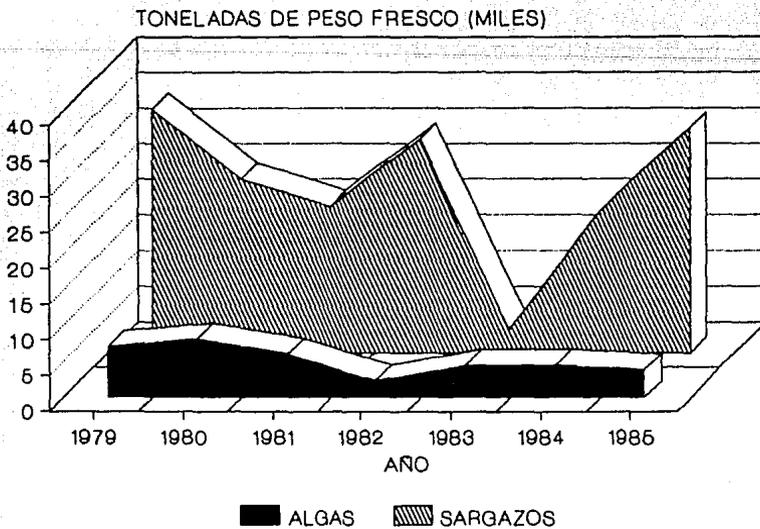
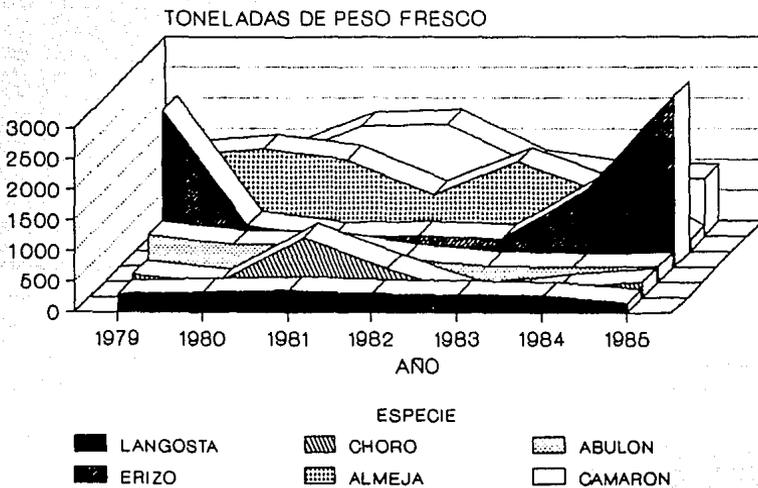


FIG. 4. VALOR DE LA PRODUCCION PESQUERA  
POR PRINCIPALES ESPECIES PARA  
BAJA CALIFORNIA

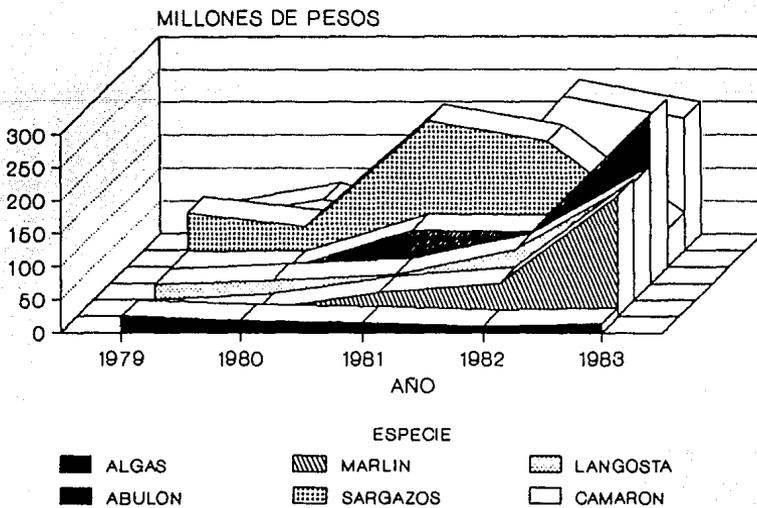
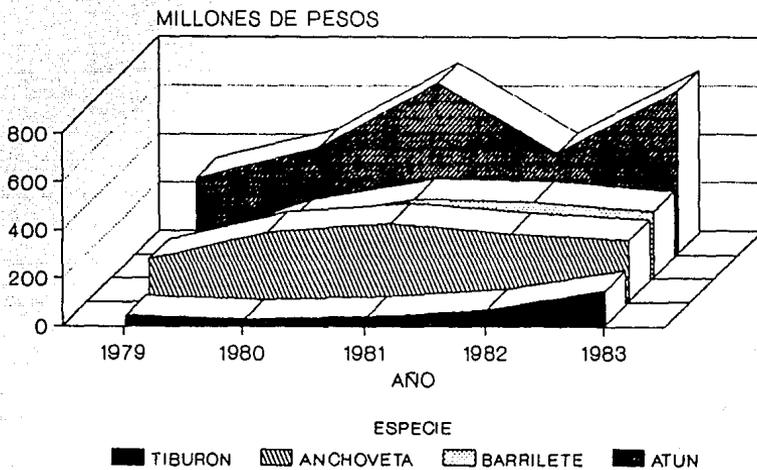


FIG. 5. VALOR DE LA PRODUCCION PESQUERA  
POR PRINCIPALES ESPECIES PARA  
BAJA CALIFORNIA

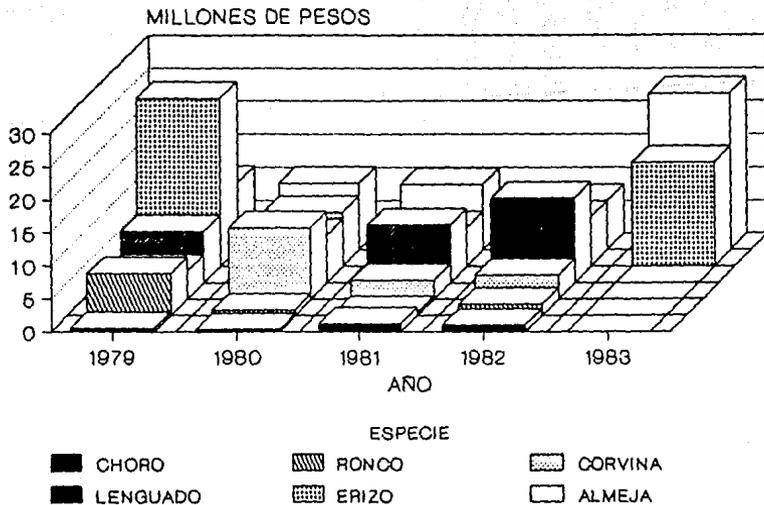
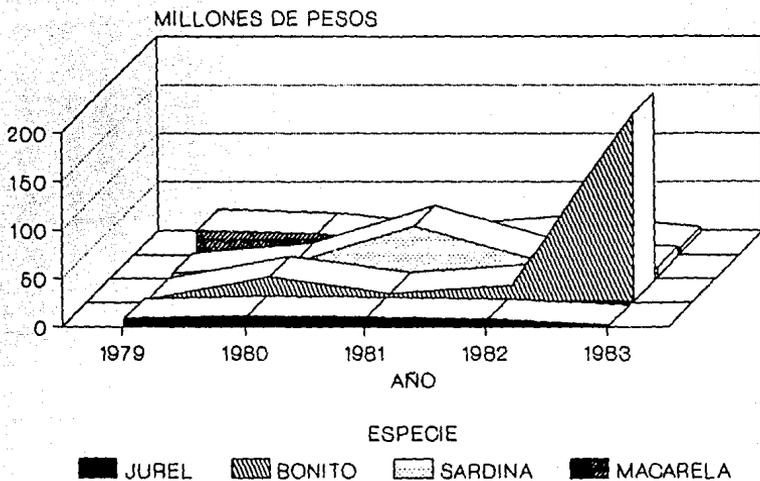
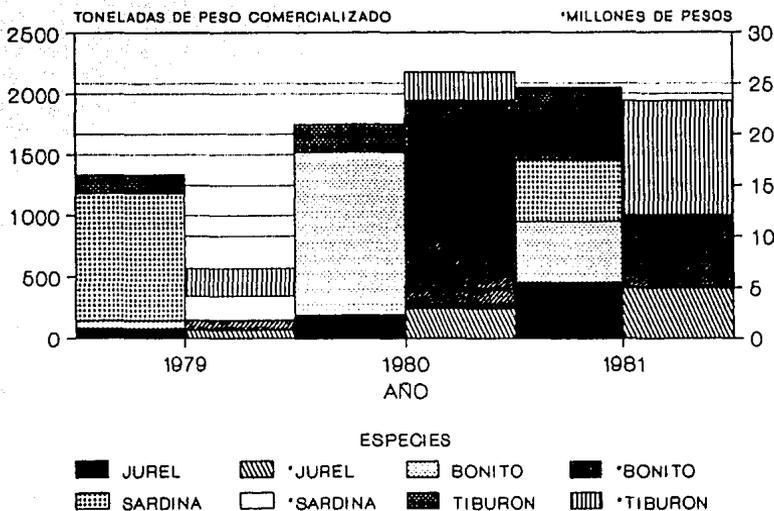
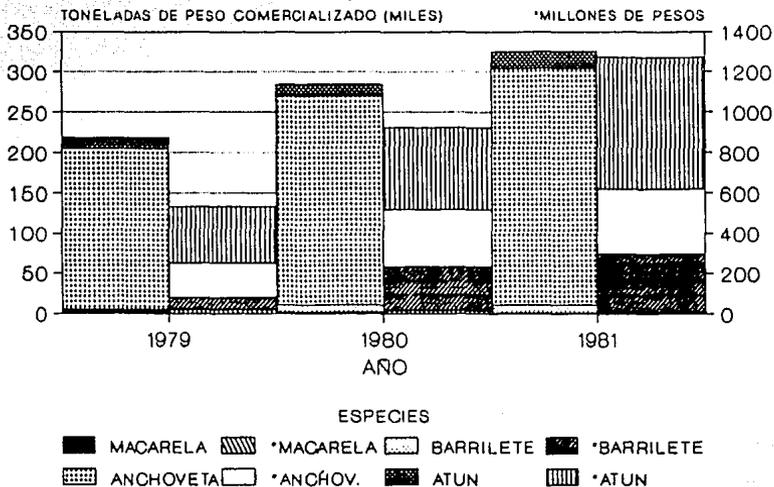


FIG. 6. Volumen y Valor de la producción pesquera por principales peces para la oficina de Ensenada, B.C.



**FIG 7. VOLUMEN Y VALOR DE LA PRODUCCION PESQUERA PARA OTRAS ESPECIES, OFICINA DE ENSENADA, B.C.**

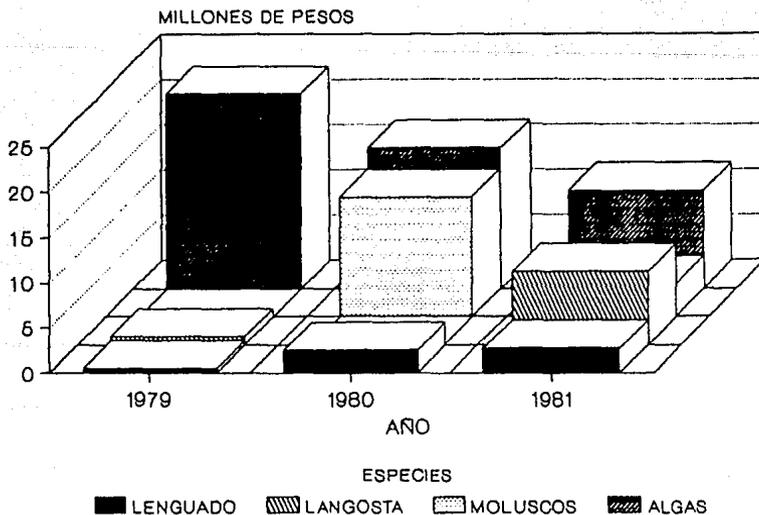
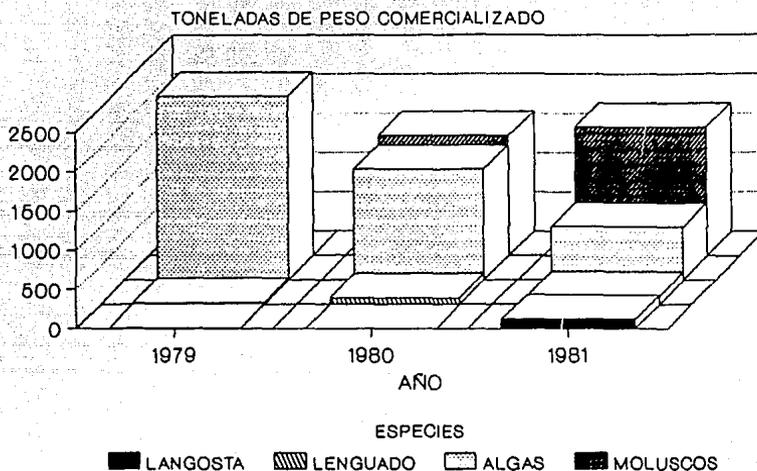
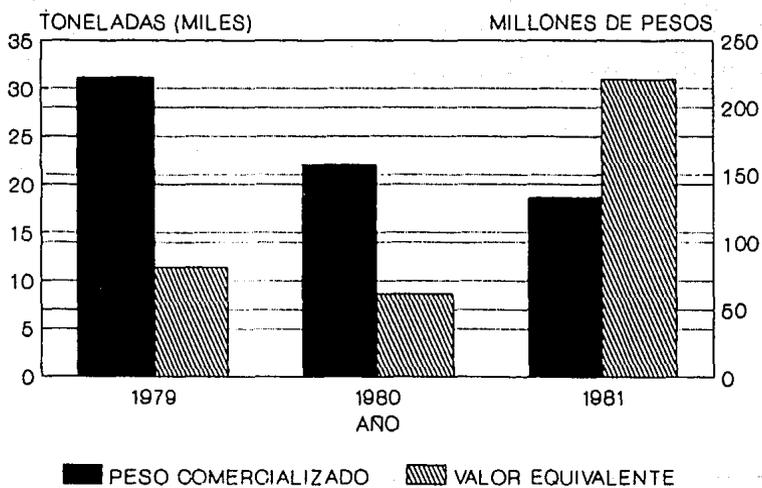


FIG 8, VOLUMEN Y VALOR DE LA PRODUCCION DE SARGAZOS PARA LA OFICINA DE ENSENADA, B.C.



## ANEXO II

## LISTA DE TABLAS

No. Tabla			Pág.
1		Valores máximo, mínimo y promedio anuales de diferentes parámetros fisicoquímicos del agua de mar para diferentes localidades cercanas a Rosarito, B.C.	153
2		Especies de aves marinas cuyas distribuciones o coberturas oceánicas contienen a la zona de influencia de la C.T. Tijuana, según las distribuciones de aves marinas descritas por Tuck y Heinzel (1980).	154
3		Especies migratorias de aves marinas que pudiesen atravesar la zona de influencia de la C.T. Tijuana, según las migraciones de aves marinas descritas por Tuck y Heinzel (1980).	155
4		Mamíferos marinos cuyas distribuciones o migraciones pueden estar intersectadas con la zona de influencia de la C. T. Tijuana.	156

TABLA 1. VALORES MAXIMO, MINIMO Y PROMEDIO ANUALES DE DIFERENTES PARAMETROS FISICOQUIMICOS DEL AGUA DE MAR, PARA DIFERENTES LOCALIDADES CERCANAS A ROSARITO, B.C.

PARAMETRO	MAXIMO	MINIMO	PROMEDIO	LUGAR	AUTOR
Temperatura (°C)	18 (otoño)	15 (invierno)	16.5	A 4 km de La Jolla, California, E.U.A.	Gómez-Valdez, Vélez-Muñoz, 1982
Salinidad (‰)	34 (otoño)	33.5 (primavera)	33.55	Zona de Transición Corriente de Calif	Gómez-Valdez, Vélez-Muñoz, 1982
Transparencia (fig. 20)	17 m (enero)	5 m (dic.)	9 m	Bahía de Todos Santos	Grijalva et al., 1985
pH (unidades)	8.5 (invierno)	7.77 (verano)	8.1	Estero de Punta Banda	Celis Ceseña y Alvarez Borrego, 1975
Oxígeno disuelto (mg/l)	7.0 (inv-prim)	3.4 (ver-otoño)	5.3	Estero de Punta Banda	Celis Ceseña y Alvarez Borrego, 1975

TABLA 2. ESPECIES DE AVES MARINAS CUYAS DISTRIBUCIONES O COBERTURAS OCEANICAS CONTIENEN A LA ZONA DE INFLUENCIA DE LA C.T. TIJUANA, SEGUN LAS DISTRIBUCIONES DE AVES MARINAS DESCRITAS POR TUCK Y HEINZEL (1980).

NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO	DISTRIBUCION
Pico de tijera de vientre negro	<i>Puffinus p. opisthomelas (A)</i>	A.O.
Petrel de tormenta mínima	<i>Halocyptena microsoma</i>	A.O.
Petrel de la tormenta de Leach	<i>Oceanodroma leucorhoa</i>	L.
Petrel de tormenta negra	<i>Lomelania melania (A)</i>	L.
Petrel cenizoso pálido	<i>Oceanodroma homochroa (A)</i>	A.O.
Pelicano blanco Americano	<i>Pelecanus erythrorhynchus</i>	A.O.
Pelicano café	<i>P. occidentalis (P.E.)</i>	L.
Cormorán de doble cresta	<i>Phalacrocorax auritus</i>	L.
Cormorán de Brandt	<i>P. penicillatus</i>	L.
Cormorán pelágico	<i>P. pelagicus</i>	L.
Gaviota de Heermann	<i>Larus heermanni (A)</i>	A.O.
Gaviota pico de anillo	<i>L. delawarensis</i>	A.O.
Gaviota de California	<i>L. californicus</i>	A.O.
Gaviota del oeste	<i>L. occidentalis</i>	L.
Gaviota de Bonaparte	<i>L. philadelphia</i>	A.O.
Golondrina pico de gaviota	<i>Gelochelidon nilotica (R)</i>	L.
Golondrina pequeña	<i>Sterna albifrons</i>	L.
Golondrina elegante	<i>Thalasseus elegans</i>	L.
Mérgulo de Xantus	<i>Brachyramphus hypoleucus</i>	A.O.
Mérgulo de Craveri	<i>B. craveri</i>	A.O.
Alca pequeña de Cassin	<i>Ptychoramphus aleuticus (R)</i>	L.
Alca pequeña rinoceronte	<i>Cerorhinca monocerata</i>	A.O.

## NOTAS:

A.O. - Area oceánica  
L. - Local

## SITUACION:

A. - "Amenazada"  
P.E. - "en peligro de extinción"  
R. - "rara"

- En las especies "en peligro de extinción", sus poblaciones se encuentran claramente reducidas y en riesgo de que cualquier factor adverso pudiese exterminarlas totalmente.
- Las especies "amenazadas" se consideran en relativo equilibrio poblacional, pero que debido a reducciones rápidas en sus números y de seguir manifestando la misma tendencia, pueden alcanzar la situación del caso anterior en corto tiempo.
- Para las especies "raras", dado que sus distribuciones son limitadas, sus poblaciones pequeñas y no se les ha estudiado plenamente, no se sabe si son especies con abundancias poblacionales estables, amenazadas o en peligro de extinción.

TABLA 3. ESPECIES MIGRATORIAS DE AVES MARINAS QUE PUDIESEN ATRAVESAR LA ZONA DE INFLUENCIA DE LA C.T. TIJUANA, SEGUN LAS MIGRACIONES DE AVES MARINAS DESCRITAS POR TUCK Y HEINZEL (1980).

NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO	MES EN EL QUE QUE SE PRESENTA
1. Pico de Tijera de patas rosas	<i>Puffinus creatopus</i>	Septiembre
2. Pico de Tijera grisáceo	<i>P. griseus</i>	junio, septiembre
3. Falaropo gris	<i>Phalaropus fulicarius</i>	mayo, agosto
4. Falaropo de cuello rojo	<i>Lobipes lobatus</i>	mayo, agosto
5. Gaviota parda Pomarina	<i>Stercorarius pomarinus</i>	mayo, agosto
6. Gaviota parda del Artico	<i>S. parasiticus</i>	mayo, septiembre
7. Gaviota parda de cola larga	<i>S. longicaudus</i>	mayo, agosto
8. Gaviota de Sabina	<i>Xema sabini</i>	junio, septiembre
9. Golondrina del Artico	<i>Sterna paradisea</i>	diciembre, mayo

TABLA 4. MAMIFEROS MARINOS CUYAS DISTRIBUCIONES O MIGRACIONES PUEDEN ESTAR INTERSECTADAS CON LA ZONA DE INFLUENCIA DE LA C.T. TIJUANA.

NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO	SITUACION DE LA ESPECIE
Lobo marino de California	<i>Zalophus californianus californianus</i>	Amenazada
Foca común	<i>Phoca vitulina richardi</i>	En peligro de extinción
Delfín común	<i>Delphinus sp.</i>	
Delfín nariz de botella	<i>Tursiops gillii</i>	
Delfín de costados blancos	<i>Lagenorhynchus obliquidens</i>	
Ballena gris	<i>Eschrichtius robustus</i>	Amenazada
Rorcual jorobado	<i>Megaptera novaengliae</i>	En peligro de extinción
Rorcual enano	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	

NOTA:

Las distribuciones del lobo marino y de la foca fueron consultados en King (1964) y las de los cetáceos en Urbán y Aguayo (1985).

## ANEXO III

### ANEXO III. MODELO MATEMATICO

El modelo matemático de difusión térmica fue diseñado para el estudio de recirculación de agua caliente entre los canales de toma y descarga de la C.T.. El modelo está basado en el principio de conservación de calor y está constituido por 2 partes fundamentales: la hidrodinámica y la difusión térmica; dentro de esta última se incluye otro modelo que permite determinar el intercambio de calor de la masa de agua con la atmósfera.

El modelo es bidimensional y para la solución de sus ecuaciones se utiliza un esquema explícito de diferencias finitas.

Después de realizar campañas de medición de temperatura y velocidad de corrientes en la C.T. Tijuana se probó la bondad del modelo y se calibró.

#### a) Modelo Hidrodinámico

Este modelo está basado en los principios de conservación de masa y en el de cantidad de movimiento, los cuales en su

versión diferencial y no conservativa están dados por el sistema de ecuaciones:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -g \frac{\partial h}{\partial x} - u \frac{\partial u}{\partial x} - v \frac{\partial u}{\partial y} - g S_{f_x} - \Omega v$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -g \frac{\partial h}{\partial y} - u \frac{\partial v}{\partial x} - v \frac{\partial v}{\partial y} - g S_{f_y} - \Omega u$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} = -\frac{\partial q_x}{\partial x} - \frac{\partial q_y}{\partial y}$$

donde

$x, y$  sistema coordenado de referencia

$u, v$  velocidad del agua en dirección  $x$ ,  $y$  respectivamente

$t$  tiempo

$h$  carga piezométrica

$S_{f_x}, S_{f_y}$  pérdida de carga, por unidad de longitud en la dirección  $x$ ,  $y$  respectivamente

$\Omega$  factor de Coriolis

$q_x, q_y$  gastos unitarios en dirección  $x$ ,  $y$

$g$  aceleración de la gravedad.

### Condiciones de frontera

Están dadas por fronteras físicas como la playa y escolleras, por las obras de toma y descarga de la C.T. y por el mar. Estas se simularon con 2 tipos básicos: fronteras en gasto y en nivel. Todos los elementos de la malla (de la figura 23) que tienen frontera con el mar pueden intercambiar agua con el "mar abierto" pero no modificar su nivel, por lo que ésta es una frontera en nivel. Los elementos en los que se localizan

las obras de toma y descarga, así como cualquier frontera impermeable son casos de fronteras en gasto conocido.

La condición de frontera en nivel se toma en cuenta considerando un elemento ficticio de capacidad infinita, de tal forma que no modifique su nivel por el intercambio de masa que efectúe con la malla. La condición de frontera en gasto se considera asignando el valor conocido.

#### b) Modelo de difusión térmica

Este modelo está basado en el principio de conservación de calor aplicado a un volumen de control limitado ( $V$ ) por una superficie "s" dado por la siguiente ecuación:

$$\int_V \frac{\partial}{\partial t} (\rho CT) dV + \int_s (\rho CT V) ds = \int_s E_n \frac{\partial}{\partial n} (\rho CT) ds + \int_V \rho I(t) dV$$

donde

$\rho$  densidad del agua ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$C$  calor específico del agua ( $\text{Joule}/\text{kg}$ )

$T$  temperatura del agua ( $^{\circ}\text{C}$ )

$(\rho CT)$  cantidad de calor por unidad de volumen ( $\text{Joule}/\text{m}^3$ )

$V$  velocidad del flujo ( $\text{m}/\text{s}$ )

$E_n$  coeficiente de difusión longitudinal en la dirección "n" ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$I(t)$  función que define el flujo neto de cantidad de calor por unidad de masa y de tiempo, de la atmósfera al volumen de control ( $V$ )

$dV$  diferencial de volumen

$ds$  diferencial de superficie

$t$  tiempo.

La expresión anterior sufre varias transformaciones (consultar CFE, 1986) la cual finalmente incluye la siguiente ecuación ( $\phi$ ) que valora la energía almacenada por el cuerpo de agua por el intercambio de calor entre la atmósfera y el agua ( $\text{watt/m}^2$ ):

El balance de energía establece que:

$$\phi = \phi_{sol} + \phi_{atm} - \phi_{evap} - \phi_{conv} - \phi_{agua}$$

donde

$$\phi_{sol} = 0.94 \text{ rad}$$

$$\phi_{atm} = 0.511 \times 10^{-12} (T_a + 273.3)^6 (1 + 0.16 C^2)$$

$$\phi_{agua} = 5.44 \times 10^{-8} (T_s + 273.3)^4$$

$$\phi_{conv} = 2.28 W (T_s - T_a)$$

$$\phi_{evap} = 4.96 W (e_s - e_a)$$

$$e_a = \frac{hum}{100} (162.9 \times 10^6) \text{ EXP } (-4157 / (T_a + 239))$$

$$e_s = 162.9 \times 10^6 \text{ EXP } (-4157 / (T_s + 239))$$

$T_a$  = temperatura del aire ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_s$  = temperatura superficial del agua ( $^{\circ}\text{C}$ )

$C$  = nubosidad en fracción de cielo cubierto

$W$  = velocidad del viento ( $\text{m/s}$ )

$hum$  = humedad relativa en %

$rad$  = radiación solar ( $\text{watt/m}^2$ )

$conv$  = convección del aire.

### Condiciones de frontera

Están dadas por las fronteras físicas como la playa, por la obra de descarga y por el mar. Estas se simularon como fronteras con flujo de calor conocido.

\* En el caso de los elementos con frontera impermeable como son la playa y escolleras, el flujo de calor es cero.

\* En la toma y en la descarga el flujo de calor  $F$  es:

$$\text{Toma: } F = V_t T_t \quad , \quad \text{Descarga: } F = V_d (T_t + \Delta T)$$

donde

$V_t$     velocidad en la obra de toma

$V_d$     velocidad en la obra de descarga

$T_t$     temperatura en la obra de toma

$\Delta T$     incremento de temperatura que produce la C.T. al agua de enfriamiento.

En las simulaciones de la figura 23, las corrientes tipo A corresponden al conjunto de corrientes con las cuales se hizo la calibración del modelo, y sus direcciones y velocidades respectivas aparecen en las notas de la figura; la corriente tipo C es una corriente litoral muy frecuente con dirección NNW.