

ESTUDIO ECOLOGICO PREVIO AL ESTABLECIMIENTO DE UNA PLANTA TERMOELECTRICA EN PUERTO LIBERTAD, SONORA, MEXICO.

ECOLOGICAL STUDY PRIOR TO THE ESTABLISHMENT OF A THERMOELECTRIC PLANT IN PUERTO LIBERTAD, SONORA, MEXICO

Por/By

Luis Rafael Martínez Córdova
Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas
Universidad de Sonora
Rosales y Niños Héroe
Hermosillo, Sonora

MARTINEZ CORDOBA, L.R. 1985. Estudio ecológico previo al establecimiento de una planta termoeléctrica en Puerto Libertad, Sonora, México. *Ecological study prior to the establishment of a thermoelectric plant in Puerto Libertad, Sonora, México. Ciencias Marinas*, 11 (1): 93-111 (19)

RESUMEN

Se llevó a cabo durante el año de 1981, un estudio ecológico en Puerto Libertad, Sonora, en el área donde próximamente comenzará a funcionar una planta termoeléctrica de 600 megawatts, la cual utilizará agua de mar en su sistema de enfriamiento, devolviéndola al ecosistema marino con un incremento de temperatura de alrededor de 7°C.

Los parámetros fisicoquímicos, especialmente la temperatura, mostraron un rango de variación anual muy amplio y un patrón de variación estacional bien definido, el cual parece influenciar notablemente el comportamiento de las comunidades bióticas a través del año.

Los valores de abundancia y diversidad, tanto en el plancton como en el bentos, son relativamente elevados y en cierta forma sugieren que el ecosistema marino en esta área no presenta síntomas de perturbación inducida.

La especie más resistente a la temperatura, de las cuatro probadas, fue la almeja, con un TLM₅₀ superior a los 40 °C que fue la máxima temperatura probada, y las menos resistentes fueron el mejillón y el caracol con un TLM₅₀ de 34°C.

ABSTRACT

An ecological study was conducted during 1981 in Puerto Libertad, Sonora, at the site where a thermal power plant is going to start soon. That plant will use marine water for its cooling system, returning this water to the ecosystem about 7°C warmer.

Environmental parameters, especially temperature, show a wide range during the year and a well defined pattern of variation which seem to have a significant influence on the behavior of the biotic communities.

The value of abundance and diversity of plankton and benthic organism were relatively high and they suggest that marine ecosystem in the area does not seem to be altered by any kind of induced disturbance.

The organism most resistant to temperature was the clam with a TLM₅₀ of over 40°C, and the least resistant were the gasteropod and the mussel with TLM₅₀ of 34°C.

INTRODUCCION

El aprovechamiento óptimo de los recursos marinos implica no solamente su conocimiento y correcta explotación, sino además, y de manera prioritaria, la conservación de los ecosistemas donde dichos recursos se desarrollan.

Actualmente la contaminación de los océanos es un grave problema que amenaza no sólo la producción sino incluso la supervivencia de muchas de sus especies.

La contaminación térmica es una de las que ha adquirido gran importancia actualmente debido a la gran cantidad de plantas termoeléctricas y nucleares que se han establecido en las márgenes de ríos, lagos y mares, de los cuales toman el agua para su sistema de enfriamiento, devolviéndola al ecosistema marino con un incremento de temperatura de al menos 6°C (North y Adams, 1969; Marshall, 1971).

El establecimiento de una planta termoeléctrica afecta al ecosistema marino adyacente de diferentes formas: las obras de construcción ocasionan daños de considerable magnitud en el bentos al producir enterramiento, erosión, etc. (Leighton *et al.*, 1966); la turbulencia y la presión de la descarga producen perturbaciones también en este sentido (Adams, 1969).

Pero el daño más notorio es el que directamente produce el incremento de la temperatura en el ambiente ecológico en el que viven los organismos, al inducir cambios en su metabolismo, ritmo respiratorio, ritmo reproductivo y alimentación (North, 1969; Pearce, 1969; Coutant, 1970; Turk *et al.*, 1972; Stocker y Seager, 1981).

El bentos es la comunidad que aparentemente resulta más afectada por su escasa o nula capacidad de locomoción (Barnett y Hardy, 1969). El plancton resulta también seriamente dañado al ser arrastrado al sistema de enfriamiento o al recibir el agua calentada en el área de la descarga (Mathur y Robins, 1980). Si consideramos que los organismos del necton tienen generalmente una etapa planctónica,

INTRODUCTION

In order to take the greatest advantage of the marine resources we have not only to know them, but to exploit them in an adequate and proprietary way, we have to conserve the ecosystems where such resources are found.

In the present, the pollution of the oceans is a serious problem that threatens not only the reproduction but the survival of many of its species.

Thermal pollution has acquired great importance due to the great amount of thermoelectric and nuclear plants that have been established along the margins of the rivers, lakes, and seas from which they take water needed for their cooling system, returning it to the marine ecosystem with an increase of temperature of at least 6°C (North and Adams, 1969; Marshall, 1971).

The establishment of a thermoelectric plant affects the marine ecosystem in different ways: the construction work produces damages of considerable magnitude to the benthos, through sliding and erosion, (Leighton *et al.*, 1966); the turbulence and pressure of the discharge produce similar disturbances (Adams, 1969). But the most notorious damage is the one directly produced by the increase of temperature in the ecological environment where the organisms live, inducing changes in their metabolism, respiratory rhythm, reproductive rhythm, and feeding (North, 1969; Pearce, 1969; Coutant, 1970; Turk *et al.*, 1972; Stocker and Seager, 1981).

The benthos is apparently the most affected community due to the scarce or poor locomotion capacity of its inhabitants (Barnett and Hardy, 1969). The plankton is also seriously damaged when it is swept into the cooling system or when it receives the heated water in the discharge area (Mathur and Robins, 1980). If we consider that most nekton generally have a planktonic stage, this community would be also affected.

resulta que esta comunidad sería también afectada.

Se ha considerado que cambios de temperatura menores de 1°C no tienen efecto significativo en la ecología de las comunidades bióticas (Cayot y North, 1968; Adams *et al.*, 1971). Cambios de temperatura entre 1 y 6°C, producen una zona de transición donde existen especies tolerantes a la temperatura y especies que pueden adaptarse ocasionalmente. Sin embargo, cambios de temperatura mayores de 6°C, llegan a producir trastornos ecológicos sustanciales que acarrearán la eliminación de especies no tolerantes y su sustitución por especies tolerantes (Ebert, 1966).

El grado en que la descarga térmica puede afectar al ecosistema depende de varios factores como capacidad de la planta, tipo de descarga y época del año entre otros.

North y Adams (1969) establecieron que una planta de 1,150 megawatts causaría la sustitución de las especies de la comunidad bentónica por otras más tolerantes a la temperatura, en una cobertura de alrededor de 5 hectáreas y hasta una profundidad de 20 m.

Las descargas abiertas en la playa afectan en mayor grado a las comunidades bentónicas que las descargas sumergidas cuyas aguas se distribuyen en la columna superficial (Adams, 1969; Reeves, 1970; Zeller y Rulifson, 1970; Duffy, 1970).

Durante el verano, el daño ocasionado por la descarga térmica es más significativo ya que durante esta época alcanza temperaturas extremadamente elevadas y es entonces cuando hay una mayor abundancia y diversidad de organismos que son afectados.

En Puerto Libertad, Sonora, comenzará a funcionar próximamente una planta termoeléctrica de 600 megawatts de capacidad, la cual utilizará agua marina para su sistema de enfriamiento, devolviéndola al mar con un incremento de alrededor de 7°C sobre la temperatura de toma. El volumen de la descarga será de 30 m³/seg y el tipo de descarga será abierto en la playa.

Temperature changes of less than 1°C have been considered as having no significant effect on the ecology of biotic communities (Cayot and North, 1968; Adams *et al.*, 1971). Temperature changes between 1 and 6°C, produce a transition zone where species tolerant to temperature changes and species that can occasionally adapt to these changes occur. However, temperature changes higher than 6°C result in substantial ecological disorder that bring about the elimination of non-tolerant species and their substitution by tolerant ones (Ebert, 1966).

The degree to which the thermal discharge can affect the ecosystem depends on several factors such as capacity of the plant, type of discharge and time of the year.

North and Adams (1969) stated that a 1,150 megawatts plant would bring about the substitution of the benthic community species by more tolerant ones to temperature changes, in an area of around 5 hectares and to a 20 m depth.

The open discharges on the beach affect the benthic communities to a greater degree than the submerged ones, which are distributed throughout the superficial water column (Adams, 1969; Duffy, 1970; Reeves, 1970; Zeller and Rulifson, 1970).

During summer, the damage produced by thermal discharge is more significant, for during this time it reaches extremely high temperatures and there are also greater abundance and diversity of affected organisms.

In Puerto Libertad, Sonora, a 600 megawatts thermoelectric plant will soon be in operation. It will use marine water in its cooling system, returning it to the sea with an increase of 7°C above the initial temperature. The discharge volume will be of 30 m³/sec and it will be thrown on the beach.

Based on these specifications, the bathymetry of the area and the currents system, we determined the surface in which the temperature increase would be higher than 1°C with an experimental model used by Mobarek (1966) in the Morro Bay, U.S.A.

De acuerdo a estas especificaciones, a la batimetría del área y al sistema de corrientes, se determinó la superficie dentro de la cual el incremento de temperatura sería mayor de 1°C, utilizando un modelo experimental usado por Mobarek (1966) para la planta termoeléctrica de Morro Bay, USA. Con base en esto se determinó nuestra área de estudio, la cual puede verse en la Figura 1.

MATERIAL Y METODOS

1. Registro de parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos tomados en cuenta en este estudio fueron: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y nutrientes (P-PO₄, N-NH₃, N-NO₂ y N-NO₃). Se estableció una red de 12 estaciones en el área de estudio (Fig. 1),

power plant. With this, we then determined our study area (Figure 1).

MATERIALS AND METHODS

1. Physical-chemical parameters recorded

The physical-chemical parameters measured in this study were: temperature, salinity, dissolved oxygen and nutrients (P-PO₄, N-NH₃, N-NO₂, N-NO₃). In the study area, 12 stations were established (Fig. 1), where we took temperature, salinity and dissolved oxygen measurements every week and nutrients measurements every two weeks.

Temperature and salinity were measured using a Kahlsico thermohaline conductimeter, at 0, 5 and 10 m depth.

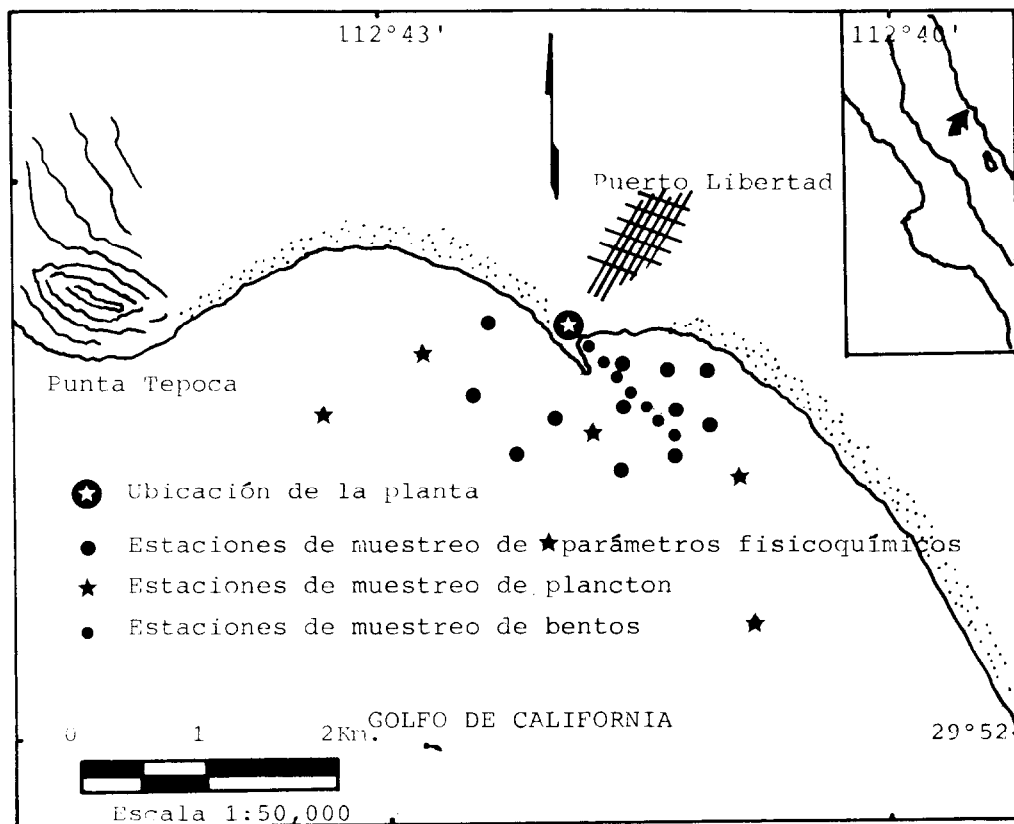


Fig. 1. Localización del área de estudio y estaciones de muestreo.
- Location of study area and sampling stations.

en las cuales se realizaron semanalmente las mediciones de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto, y quincenalmente las de nutrientes.

Temperatura y salinidad se midieron utilizando un termohalinoconductímetro marca Kahlsico; las mediciones se hicieron a las profundidades de 0, 5 y 10 m.

El oxígeno disuelto se midió químicamente por el método de Winkler (Strickland y Parson, 1972); las muestras se tomaron por medio de una botella Van-Dorn a las profundidades antes mencionadas y se pasaron a botellas DBO de 300 ml. Se fijaron *in situ* y se transportaron al laboratorio para su titulación.

Para el análisis de nutrientes las muestras fueron tomadas igualmente con una botella Van-Dorn, a la profundidad de 5 m; de ésta se pasaron a botellas de plástico de 500 ml, las cuales fueron transportadas al laboratorio, en hielo a temperaturas menores de 4°C. El análisis se hizo por medio de colorimetría utilizando las técnicas especificadas por Strickland y Parson (1972). Para la lectura de la absorbancia se utilizó un espectrofotómetro Perkin Elmer modelo 267.

2. Estudio de las comunidades bióticas

Este estudio fue encaminado a conocer la composición, abundancia y diversidad de las comunidades planctónica y bentónica, las cuales supuestamente van a ser las mayormente afectadas por la descarga térmica.

Para el estudio de fito y zooplancton, se establecieron seis estaciones de muestreo (Fig. 1).

Para el análisis cualitativo de fitoplancton se hicieron arrastres quincenalmente, mediante un muestreador Clarke-Bumpus con malla de 50 micras de abertura. Los arrastres fueron superficiales, con duración de 3 minutos a una velocidad de 1.5 nudos. Las muestras se colectaron en frascos de plástico y se les añadió formol al 4% para su conservación.

Dissolved oxygen was chemically measured by the Winkler method (Strickland and Parson, 1972); the samples were taken by a Van-Dorn bottle at 0, 5 and 10 m depth passing them to 300 ml BOD bottles. They were fixed *in situ* and transported to the laboratory.

For nutrient analysis the samples were taken by a Van-Dorn bottle at 5 m depth from which they were kept in 500 ml plastic bottles transported to the laboratory in ice at temperatures lower than 4°C. The analysis was done by colorimetry using the techniques specified by Strickland and Parson (1972). A Perkin Elmer spectrophotometer model 267 was used for the absorbance readings.

2. Study of the biotic communities

This study sought to determine the composition, abundance and diversity of the planktonic and benthic communities, which supposedly will be the most affected by the thermal discharges.

For the study of phytoplankton and zooplankton, six sampling stations were established (Fig. 1).

For the phytoplankton qualitative analysis, hauls were made every two weeks by a Clarke-Bumpus sample with a 50 micron mesh. The hauls were superficial, for 3 minutes at a speed of 1.5 knots. The samples were collected in plastic bottles and 4% formalin was added for preservation.

For the phytoplankton quantitative analysis we followed Utermohl method (1936) as indicated by Schwoerbel (1975). The samples were taken by a Van-Dorn bottle at 0, 5 and 10 m depth and were kept in 250 ml plastic bottles with 1 % lugol for preservation.

For species identification and quantification a Swift inverted microscope was used, with 10 ml tubular camera for the aliquots.

In the identification, the keys and descriptions by Lebour (1925), Cupp

ESTUDIO ECOLOGICO PREVIO AL ESTABLECIMIENTO DE UNA PLANTA

Para el análisis cuantitativo de fitoplancton se siguió el método de Utermohl (1936), según indicaciones de Schoworbel (1975). Las muestras se tomaron por medio de una botella Van-Dorn a las profundidades de 0, 5 y 10 m, y de ahí se les pasó a botellas de plástico de 250 ml añadiéndoles lugol al 1% para su conservación.

Para la identificación y cuantificación de las especies se utilizó un microscopio invertido marca Swift, usando cámaras tubulares de 10 ml para las alícuotas.

En la identificación se consultaron principalmente las claves y descripciones de Lebour (1925), Cupp (1943), Steindinger y Williams (1970) y Tester y Steindinger (1971).

Para el estudio de zooplancton, se hicieron arrastres quincenalmente por medio de un muestreador Clarke-Bumpus con malla de 160 micras de abertura. Los arrastres fueron superficiales, con duración de 3 minutos a una velocidad de 2 nudos. Las muestras se recogieron en botellas de plástico de 250 ml y se les añadió formol al 4% para su conservación.

La identificación y cuantificación de organismos se hizo con la ayuda de un estereomicroscopio marca American Optical y un microscopio invertido marca Swift. La identificación se basó principalmente en Smith (1977).

La abundancia de fitoplancton es expresada en células por litro, y la de zooplancton en número de organismos por metro cúbico. La diversidad en ambos casos se expresa en bits y fue obtenida mediante la función de Shannon y Weaver (1969).

Para el estudio de la comunidad bentónica, se hicieron tres muestreos durante el año, que correspondieron a las estaciones de primavera, verano e invierno.

Se hizo un transecto perpendicular a la playa en el área en donde se hará la descarga térmica, desde la línea de máxima pleamar hasta la línea de mínima bajamar, con una longitud total de 200 m y un ancho de

(1943), Steindinger and Williams (1970), and and Tester and Steindinger (1971) were used.

For the zooplankton study, hauls were made every two weeks by a Clarke-Bumpus sampler with a 160 micron mesh. The hauls were superficial during 3 minutes at a speed of 2 knots. The samples were kept in 250 ml plastic bottles with 4% formalin for preservation.

The identification and quantification of organisms was done by an American Optical stereomicroscope and a Swift inverted microscope. The identification was based mainly on Smith (1977).

The phytoplankton abundance is expressed in cells per liter and the zooplankton abundance in number of organisms per cubic meter. Diversity in both cases is expressed in bits and was obtained by Shannon and Weaver's function (1969).

For the study of the benthic community, three samples were taken during the year, corresponding to spring, summer and winter.

A transect was traced perpendicular to the beach in the area where the thermal discharge will be, from the line of maximum high tide to the line of minimum low tide, with a total length of 200 m and 50 cm width. The samples were taken at 0, 10, 20, 50, 100, 150 and 200 m from the line of maximum high tide. A metallic square 0.25 m² (0.5 x 0.5 m) was used collecting the organisms found inside, which were placed in glass flasks with 4% formalin for preservation.

The epibenthic and sessile organisms were manually collected with the help of a spatula. The infauna organisms were collected by taking the sediment sample inside a metal square with a shovel to a depth of 20 cm. This sediment went through a series of three sieves of 5, 3 and 1 mm mesh size to separate the organisms of different sizes.

Those sessile organisms that were not counted due to their small size, were esti-

50 cm. Las colectas se hicieron a los 0, 10, 20, 50, 100, 150 y 200 m a partir de la línea de máxima pleamar. Se utilizó un cuadro metálico de 0.25 m² (0.5 x 0.5 m), colectando los organismos dentro del mismo, los cuales se colocaron en frascos de vidrio y se les añadió formol al 4% para su conservación.

Los organismos epibénticos fueron colectados manualmente con la ayuda de una espátula para desprender aquellos fuertemente adheridos al sustrato. Los organismos de la infauna fueron colectados tomando la muestra de sedimento dentro del cuadro de metal por medio de una pala hasta una profundidad de 20 cm. Este sedimento se pasó a través de una serie de tres tamices de 5, 3 y 1 mm de abertura de malla, para separar los organismos de diferentes tallas.

Aquellos organismos adheridos al sustrato y que por su reducido tamaño no pudieron ser contados, fueron estimados en base al porcentaje de cobertura dentro del cuadro metálico.

La identificación de organismos se hizo con la ayuda de un microscopio estereoscópico American Optical.

La identificación de algas se basó principalmente en Abbot y Dawson (1956); la de invertebrados en Brusca (1973) y la de peces en Thomson (1977).

La abundancia de la comunidad bentónica es expresada en número de organismos por metro cuadrado y la diversidad en bits (la cual fue obtenida también utilizando la función de Shannon y Weaver).

3. Bioensayos

Se llevaron a cabo bioensayos de laboratorio para determinar la temperatura letal media para el 50% de la población probada (TLM₅₀), a 24 horas de exposición.

Estos bioensayos fueron de tipo continuo y se llevaron a cabo en acuarios de vidrio de 50 l de capacidad con aireación y corriente de agua. La temperatura fue

medida por percent of cover inside the metallic square.

The organisms identification was done with the help of an American Optical stereomicroscope.

The algae identification was based mainly in Abbot and Dawson (1956); the invertebrates in Brusca (1973) and the fish in Thomson (1977).

The abundance of the benthic community is expressed in number of organisms per square meter and the diversity is expressed in bits (which was also obtained using Shannon and Weaver's function).

3. Bioassays

Laboratory bioassays were done to determine the mean lethal temperature for 50% of the proven population (MLT₅₀) with 24 hours exposure.

These bioassays were of the continuous type, and were done in glass aquaria of 50 l capacity with aeration and water current. The temperature was controlled by self-regulated Jager submersible thermostats, with a 0.5°C precision.

The tested organisms were the clam *Chione californiensis*, the mussel *Modiolus capax*, the snail *Tegula rugosa* and the cirriped *Tetraclita squamosa*.

Previous to the bioassays, the organisms were conditioned to a 28°C temperature. During this conditioning stage, we had a 2% mortality in the mussel and a 3% mortality in the cirriped.

The treatments were:

Acuarium No.	Species	T°C
1	Clam	28
2	Clam	32
3	Clam	36
4	Clam	38
5	Clam	40
6	Mussel	28
7	Mussel	32

ESTUDIO ECOLOGICO PREVIO AL ESTABLECIMIENTO DE UNA PLANTA

controlada por medio de termostatos sumergibles y autorregulables marca Jager, con una precisión de 0.5°C.

Los organismos probados fueron: la almeja *Chione californiensis*, el mejillón *Modiolus capax*, el caracol *Tegula rugosa* y el cirrípedio *Tetraclita squamosa*.

Previo al inicio de los bioensayos, los organismos fueron aclimatados a la temperatura de 28°C. Durante esta etapa de aclimatación se presentó mortalidad únicamente en el mejillón (2%) y en el cirrípedio (3%).

Los tratamientos quedaron repartidos de la siguiente manera:

Acuario No.	Especie	T°C
1	Almeja	28
2	Almeja	32
3	Almeja	36
4	Almeja	38
5	Almeja	40
6	Mejillón	28
7	Mejillón	32
8	Mejillón	36
9	Mejillón	38
10	Mejillón	40
11	Caracol	28
12	Caracol	32
13	Caracol	36
14	Caracol	38
15	Caracol	40
16	Cirrípedo	28
17	Cirrípedo	32
18	Cirrípedo	36
19	Cirrípedo	38
20	Cirrípedo	40

Cada 4 horas, durante 24, se hicieron observaciones, anotando la mortalidad y el estado de los organismos, retirando al mismo tiempo los organismos muertos para evitar enfermar a los demás.

La temperatura letal media para el 50% de la población a 24 horas de exposición, fue determinada por el método gráfico.

Aquarium No.	Species	T°C
8	Mussel	36
9	Mussel	38
10	Mussel	40
11	Snail	28
12	Snail	32
13	Snail	36
14	Snail	38
15	Snail	40
16	Cirriped	28
17	Cirriped	32
18	Cirriped	36
19	Cirriped	38
20	Cirriped	40

During 24 hours, observations were made every 4 hours recording mortality and state of organisms and at the same time removing the dead organisms to avoid diseases.

The mean lethal temperature for 50% of the population in 24 hours of exposure was determined by the graphic method.

RESULTS AND DISCUSSIONS

1. Physical-chemical parameters

The temperature presented an annual variation range of 17.5°C and a seasonal variation pattern very well defined with low values in January and February and high values in August and September (Fig.2).

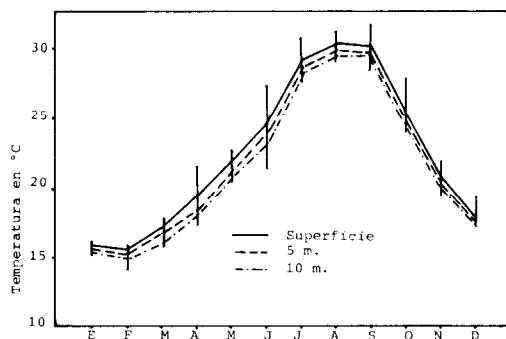


Fig. 2. Variación estacional de temperatura (°C) en Puerto Libertad, Sonora.
— Seasonal variation of temperature (°C) in Puerto Libertad, Sonora.

RESULTADOS Y DISCUSION

1. Parámetros fisicoquímicos

La temperatura presentó un rango de variación anual de 17.5°C y un patrón de variación estacional bastante bien definido con valores bajos en enero y febrero y valores altos en agosto y septiembre. (Fig. 2).

Se observó también que generalmente los valores más bajos de cada estación se presentaron a la profundidad de 10 m y los valores más altos en la superficie, aunque las diferencias no resultan ser estadísticamente significativas ni aun a un nivel de confiabilidad muy bajo.

La salinidad presentó un patrón de variación estacional muy semejante al de la temperatura, aunque el rango anual de variación fue muy estrecho (0.75 partes por mil). Como se puede ver en la figura 3, los valores más bajos se presentaron en los meses de febrero, marzo, abril y mayo, y los más altos en los meses de agosto, septiembre y octubre.

Se observó también que los valores más bajos de salinidad en cada estación se registraron por lo general a la profundidad de 10 m, y los más altos en la superficie; pero como en el caso de la temperatura, estas diferencias no son estadísticamente significativas.

El oxígeno disuelto presentó un rango de variación anual de 3.80 ml/l y su patrón de variación estacional no parece estar muy bien definido, al menos no en relación con el de temperatura y salinidad. El oxígeno disuelto presentó valores bajos en los meses de octubre y diciembre, y valores altos en los meses de marzo, abril y mayo. (Fig. 4).

Se observó también que los valores más bajos de cada estación se presentaron a 10 m de profundidad y los más altos en la superficie. En este caso sí existen diferencias significativas en los meses de febrero, marzo, abril, mayo y junio a un 90% de confiabilidad.

We also observed that generally the lowest values in each station were at 10 m depth and the highest at the surface, although the differences were not statistically significant.

The salinity presented a seasonal variation pattern very similar to that of the temperature although the annual variation range was very narrow (0.75 parts per thousand). As can be seen in figure 3, the lowest values were in February, March, April and May, and the highest in August, September and October.

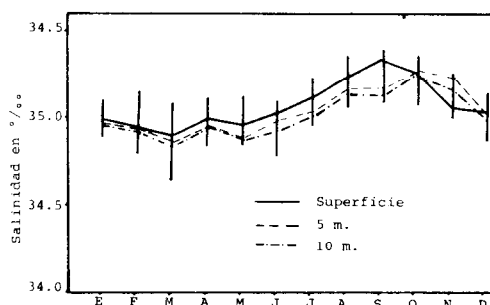


Fig. 3. Variación estacional de salinidad (‰) en Puerto Libertad, Sonora.
— Seasonal variation of salinity (‰) in Puerto Libertad, Sonora.

We observed that the lowest salinity values in each station were recorded generally at 10 m depth and the highest at the surface; but as with temperature, these differences are not statistically significant.

The dissolved oxygen presented an annual variation range of 3.80 ml/l and its seasonal variation pattern does not seem to be well defined, at least not in relation to those of the temperature and salinity. The dissolved oxygen presented low values in October and December and high values in March, April and May (Fig. 4).

The lowest values in each station were at 10 m depth and the highest at the surface. In this case there are significant differences in February, March, April, May and June at the 90% confidence level.

In relation to the nutrients, we observed very marked seasonal variations (Fig. 5).

ESTUDIO ECOLOGICO PREVIO AL ESTABLECIMIENTO DE UNA PLANTA

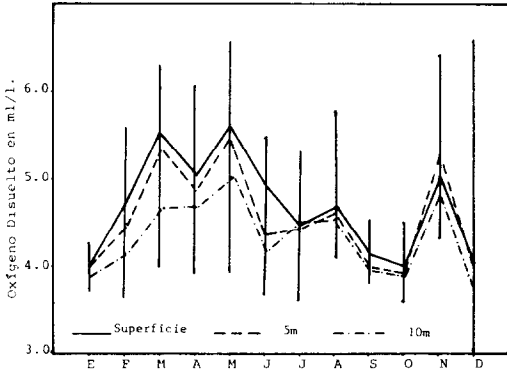


Fig. 4. Variación estacional de oxígeno disuelto (ml/l) en Puerto Libertad, Sonora.
 - Seasonal variation of dissolved oxygen (ml/l) in Puerto Libertad, Sonora.

En relación a los nutrientes, se observaron variaciones estacionales muy marcadas (Figura 5).

En general, se puede decir que los valores más bajos se registraron en los meses de julio, agosto, septiembre y octubre, y los más altos en los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo. Este patrón de variación muy posiblemente está influenciado por el ciclo del fitoplancton, cuya abundancia depende en gran medida de la disponibilidad de nutrientes.

2. Comunidades bióticas

a) Fitoplancton. La abundancia de organismos fitoplanctónicos varió notablemente a través del año. (Fig. 6). Los valores más bajos se registraron durante el otoño e invierno y los más altos en primavera y principios de verano. Este es el conocido "bloom" primaveral del fitoplancton, que se debe a condiciones ambientales favorables y a una gran disponibilidad de nutrientes.

En cuanto a la composición de las muestras, hubo cambios estacionales bastante notorios en los que unas especies van sustituyendo a otras a medida que las condiciones ambientales van cambiando, lo cual puede observarse gráficamente en la Figura 7.

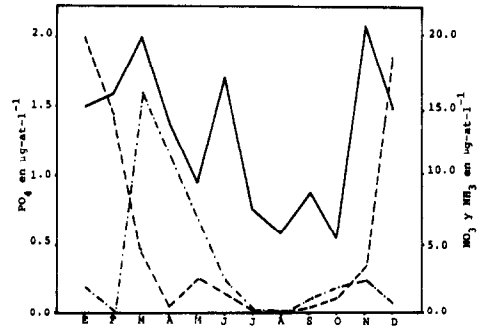


Fig. 5. Variación estacional de nutrientes (PO₄, NO₃ y NH₃) en Puerto Libertad, Sonora.
 - Seasonal variation of nutrients (PO₄, NO₃, and NH₃) in Puerto Libertad, Sonora.

In general, we can say that the lowest values were recorded in July, August, September and October, and the highest in November, December, January, February and March. This variation pattern is very possibly influenced by the phytoplankton cycle, whose abundance depends greatly on the nutrients available.

2. Biotic communities

a) Phytoplankton. The abundance of phytoplanktonic organisms notably varied through the year (Figure 6).

The lowest values were recorded during fall and winter and the highest in spring and the beginning of summer. This is the known phytoplankton spring bloom due to favorable environmental conditions and to a great nutrient availability.

As for the samples composition, there were seasonal changes where some species are substituting for others as the environmental conditions change; this can be graphically seen in figure 7.

The diversity index of the phytoplanktonic community also presented considerable variation through the year (Fig. 8). The lowest diversity values were recorded at the end of summer and during winter, and the highest during spring and almost all summer.

ESTUDIO ECOLOGICO PREVIO AL ESTABLECIMIENTO DE UNA PLANTA

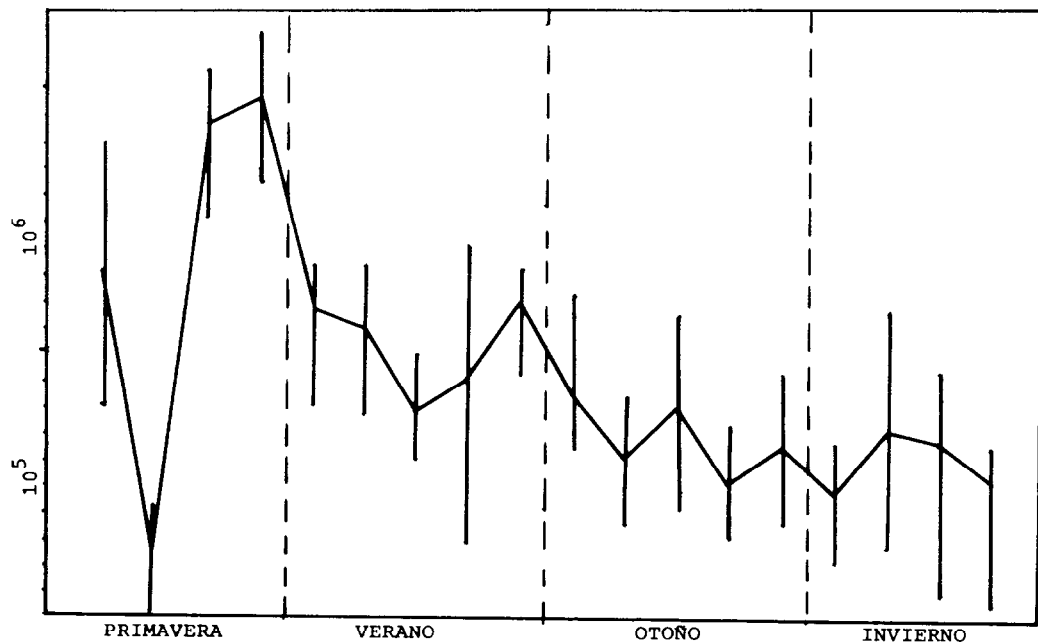


Fig. 6. Variación estacional de la abundancia de fitoplancton (cel/l) en Puerto Libertad, Sonora.
 - Seasonal variation of phytoplankton abundance (cell/l) in Puerto Libertad, Sonora.

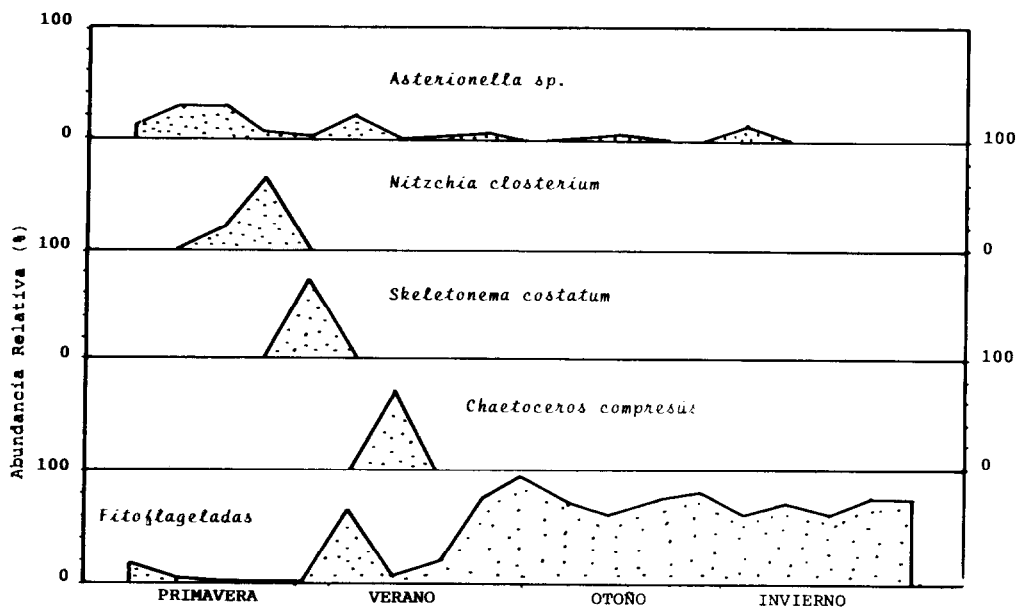


Fig. 7. Variación estacional de la abundancia relativa de algunas de las especies fitoplanctónicas más importantes en Puerto Libertad, Sonora.
 - Seasonal variation of the relative abundance of some of the most important phytoplanktonic species in Puerto Libertad, Sonora.

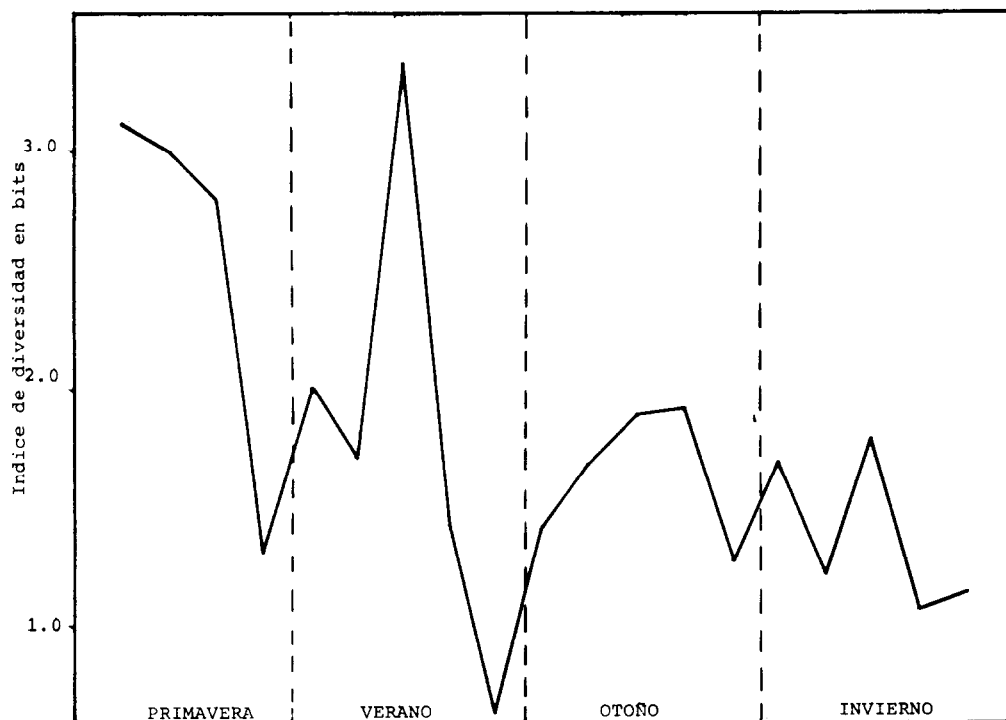


Fig. 8. Indices de diversidad de la comunidad fitoplanctónica a través de un ciclo anual en Puerto Libertad, Sonora.
 — Diversity indices of the phytoplanktonic community through an annual cycle in Puerto Libertad, Sonora.

El índice de diversidad de la comunidad fitoplanctónica también presentó considerables variaciones a través del año (Fig. 8). Los valores de diversidad más bajos se registraron a fines del verano y durante el invierno, y los más altos durante la primavera y casi todo el verano. Esto se debe a que durante estas épocas se presentan las condiciones propicias para el florecimiento de una gran cantidad de especies.

b) Zooplankton. La abundancia de organismos zooplanctónicos presentó una variación muy amplia a través del año, con valores elevados en verano y otoño y valores bajos en primavera e invierno; esto se puede ver gráficamente en la Figura 9. Este patrón de variación está relacionado con el ciclo del fitoplancton, el cual le sirve como fuente primordial de alimento.

This is due to favorable conditions for the bloom of a great amount of species during this time of year.

b) Zooplankton. The abundance of zooplanktonic organisms presented a very wide variation through the year with high values in summer and fall and low values in spring and winter (Fig. 9). This variation pattern is related to the phytoplankton pattern which is their main source of food.

As for the community composition, we observed that except for the copepods which are dominant practically all year, the rest of the groups presented times of greater abundance and others when they disappear or almost disappear from the planktonic community (Fig. 10). This

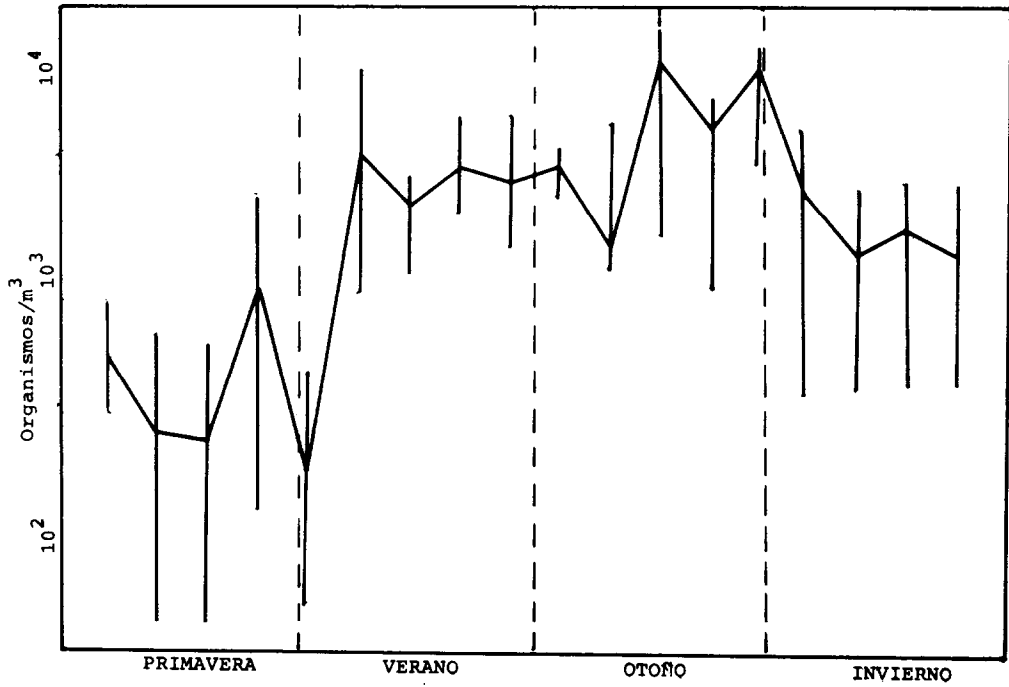


Fig. 9. Variación estacional de la abundancia de zooplancton (org/m^3) en Puerto Libertad, Sonora.
 - Seasonal variation of the zooplankton abundance (org/m^3) in Puerto Libertad, Sonora

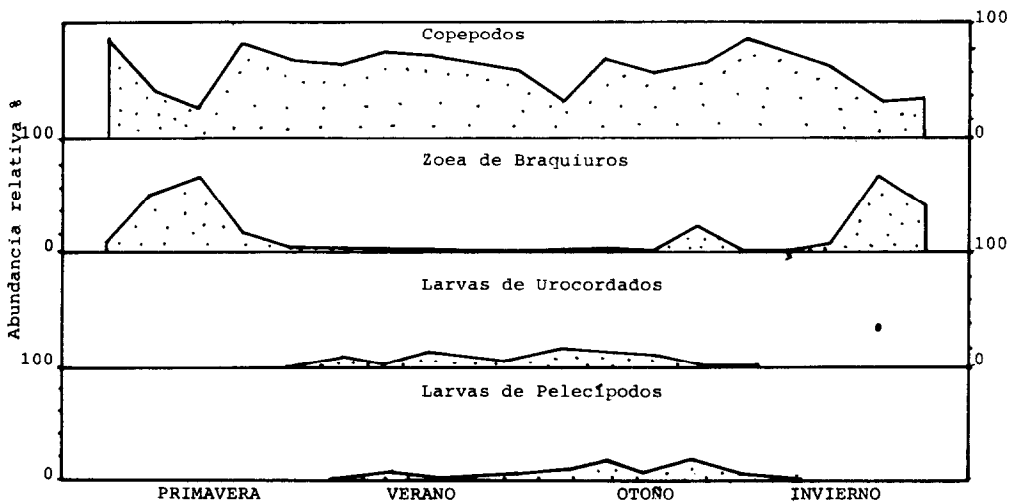


Fig. 10. Abundancia relativa de los grupos zooplanctónicos más importantes a través de un ciclo anual en Puerto Libertad, Sonora.
 - Relative abundance of the most important zooplanktonic groups through an annual cycle in Puerto Libertad, Sonora.

Respecto a la composición de la comunidad se observó que a excepción de los copépodos, que son dominantes prácticamente durante todo el año, el resto de los grupos presentó épocas de mayor abundancia y otras en las que desaparecen o casi desaparecen de la comunidad planctónica (Fig. 10). Esto da una idea de la marcada sucesión ecológica que existe ocasionada por los cambios ambientales en el área, de los cuales la temperatura es el más importante.

El índice de diversidad de la comunidad mostró variaciones considerables durante el ciclo anual con valores bajos en invierno y primavera, y valores altos en verano y otoño (Fig. 11). Esto se debe a que la mayoría de las especies marinas tienen su época de reproducción durante la primavera y verano, y generalmente todas ellas pasan por una etapa planctónica.

gives us an idea of the marked ecologic succession caused by environmental changes (of which temperature is the most important).

The diversity index of the community showed considerable variations during the annual cycle with low values in winter and spring and high values in summer and fall (Fig 11). This is due to the fact that most of the marine species reproduce during spring and summer, and generally all of them present a planktonic stage.

c) **Benthos.** The total abundance of benthic organisms in the study area during the three sampling dates and in the different points of the transect are shown in Table I.

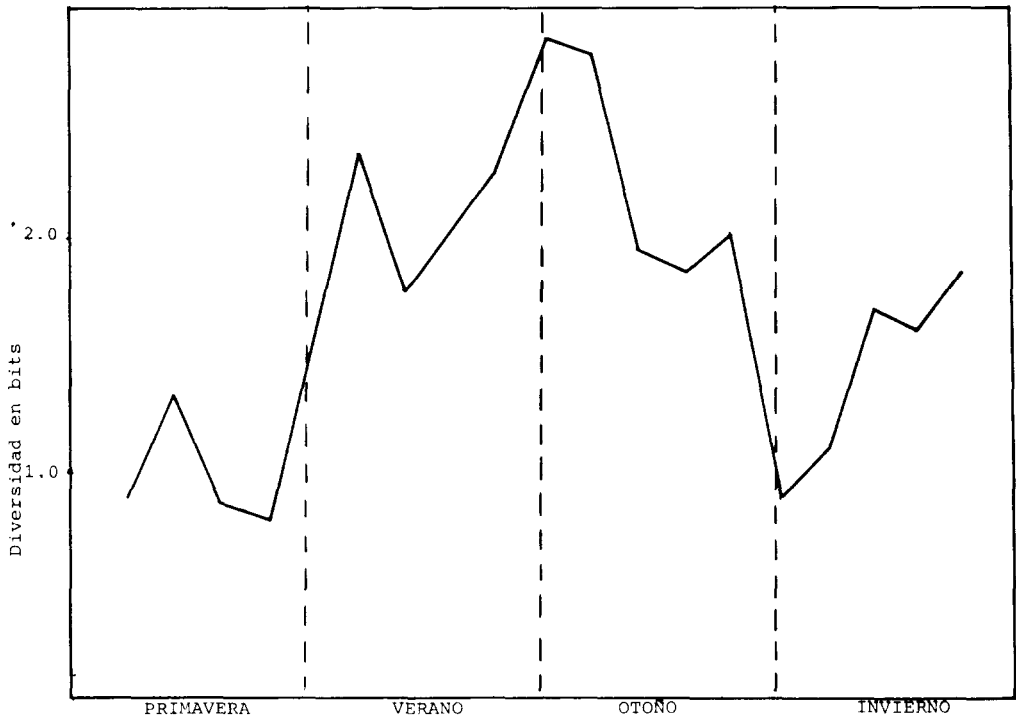


Fig. 11. Índices de diversidad de la comunidad zooplanktonica a través de un ciclo anual en Puerto Libertad, Sonora.

- Diversity indices of the zooplanktonic community through an annual cycle in Puerto Libertad, Sonora

ESTUDIO ECOLOGICO PREVIO AL ESTABLECIMIENTO DE UNA PLANTA

Los índices de diversidad de la comunidad bentónica no variaron notablemente a través del año, pero en cambio sí hubieron notables diferencias entre los diferentes puntos muestreados en el transecto, registrándose los valores más bajos de diversidad en los puntos más cercanos a la línea de máxima pleamar (Tabla III). Esto se debe a que en estos puntos las condiciones ambientales son más drásticas y solamente pueden ser soportadas por algunas especies.

3. Bioensayos.

En la Tabla IV se pueden ver los resultados de sobrevivencia obtenidos en las cuatro especies a las diferentes temperaturas y tiempos probados, y la Figura 12 muestra los resultados obtenidos con el método gráfico para obtener la temperatura letal media para el 50 % de la población a las 24 horas de exposición.

TABLA IV. Tolerancia a la temperatura de organismos bentónicos (% de sobrevivencia).

Temperature tolerance of benthic organisms (% survival).

Organismos	Temperatura en °C	Tiempo de exposición en horas					
		4	8	12	16	20	24
Modiolus sp.	28	100	100	100	100	100	100
	32	100	100	100	100	100	100
	36	100	100	100	0	0	0
	38	60*	60*	0	0	0	0
Tegula sp.	40	10	0	0	0	0	0
	28	100	100	100	100	100	100
	32	100	100	100	100	100	100
	36	100	100	100	100	100	0
Chione sp.	38	100	100	75*	75*	0	0
	40	50	0	0	0	0	0
	28	100	100	100	100	100	100
	32	100	100	100	100	100	100
Tetraclita sp.	36	100	100	100	100	100	100
	38	100	100	100	100	100	100
	38	75	75	50	25	25	25
	40	0	0	0	0	0	0

TABLA III. Índices de diversidad de la comunidad bentónica en Puerto Libertad en tres épocas del año.

Diversity indices of the benthic community in Puerto Libertad, Sonora in three seasons of the year.

Punto de muestreo (distancia del punto 0)	INDICE DE DIVERSIDAD, (Shannon y Weaver)		
	Primavera	Verano	Invierno
1	0.03	0.30	0.18
10	1.54	1.28	1.05
20	2.81	2.15	2.20
50	1.56	1.86	1.32
100	1.29	1.19	1.60
150	2.99	2.43	2.36
200	1.94	1.54	1.70

3. Bioassays

The results of survival in the 4 species to the different temperature and proven times are shown in Table IV. Figure 12 shows the results graphically to obtain the mean lethal temperature for 50% of the population at 24 hours of exposure.

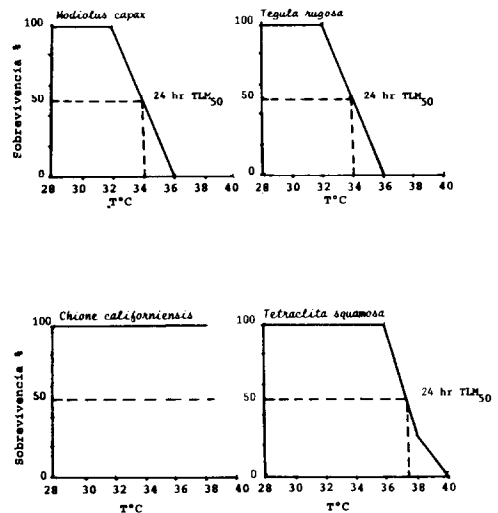


Fig. 12. Tolerancia letal media (TLM₅₀) para cuatro organismos representativos en Puerto Libertad, Sonora. — Mean lethal tolerance (MLT₅₀) for representative organisms in Puerto Libertad, Sonora.

Como se puede ver, para el mejillón y el caracol, la TLM_{50} fue de $34^{\circ}C$, para el cirripedio fue superior a $40^{\circ}C$ que fue la temperatura más alta que se probó. Estos resultados se explican con base en que el mejillón, que resultó ser la especie menos resistente, habita la parte baja de la zona intermareal, donde las condiciones ambientales no presentan cambios muy notorios y por lo tanto la especie está adaptada a condiciones poco drásticas; en cambio la almeja, que resultó ser la especie más resistente, habita la parte alta de la zona intermareal, donde las condiciones ambientales son muy drásticas y por lo tanto la especie está mejor adaptada a estas condiciones y puede soportar mejor los cambios de temperatura.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Los parámetros fisicoquímicos presentaron en general un amplio rango de variación a través del año, definiendo el área como un ecosistema en el que se agrupan especies tolerantes que están presentes durante todo el año, y especies menos tolerantes que van apareciendo a medida que se presentan las condiciones óptimas para su desarrollo.

2. Los altos valores de abundancia y diversidad de la comunidad planctónica y bentónica, parecen sugerir que el ecosistema no ha sido alterado hasta ahora por ningún tipo de perturbación inducida.

3. La alta abundancia de organismos planctónicos y bentónicos, sobre todo en determinadas épocas del año, indican que el área es altamente productiva, por lo que debe procurarse su conservación por todos los medios posibles.

4. Los bioensayos de laboratorio indican que temperaturas de $34^{\circ}C$ o superiores resultan letales para algunos de los organismos bentónicos representativos del área.

5. Durante el verano la temperatura del agua alcanza alrededor de $30^{\circ}C$, lo cual indica que la temperatura de la descarga alcanzará los $37^{\circ}C$, la cual resulta letal para una gran cantidad de organismos.

For the mussel and the snail, the MLT_{50} was $34^{\circ}C$, for the cirriped it was $37.4^{\circ}C$ and for the clam it could not be determined (it was higher than $40^{\circ}C$, the highest temperature used). The mussel, which the results indicate was the least resistant species, inhabits the low part of the intertidal zone where the environmental conditions do not show very notorious changes. The species is adapted to little drastic conditions; on the other hand, the clam that turned out to be the most resistant species, inhabits the upper part of the intertidal zone where the environmental conditions are very drastic, and so the species can better endure the temperature changes.

CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

1. The physical-chemical parameters presented in general a wide range of variation throughout the year, defining the area as an ecosystem in which are grouped the tolerant species that are present during the whole year and the less tolerant species that only appear as the optimum conditions for their development show up.

2. The high abundance and diversity values of the planktonic and benthic communities seem to suggest that the ecosystem has not been altered by any type of induced disturbance.

3. The high planktonic and benthic organism abundance, especially in some part of the year, indicate that the area is highly productive. As such, its conservation should be guaranteed by all possible means.

4. The laboratory bioassays indicate that temperatures of $34^{\circ}C$ or higher, are lethal for some of the benthic organisms representative of the area.

5. During summer, the water temperature reaches $30^{\circ}C$ which indicates that the discharge temperature will reach $37^{\circ}C$, lethal for a great amount of organisms.

ESTUDIO ECOLOGICO PREVIO AL ESTABLECIMIENTO DE UNA PLANTA

6. Debe procurarse poner en práctica algunas medidas para evitar que la descarga térmica llegue a los organismos marinos con temperaturas tan elevadas. Algunas sugerencias útiles podrían ser:

a) Hacer lagunas de enfriamiento a donde llegue la descarga antes de entrar en contacto con el ecosistema marino.

b) Mezclar el agua de la descarga con agua fría del mar.

c) Hacer la descarga sumergida, ya que de esta manera el agua más caliente se distribuirá en la columna superficial y al menos no afectará de gran manera a los organismos de la comunidad bentónica.

RECONOCIMIENTOS

Quiero agradecer la participación de las siguientes personas en el trabajo de campo y laboratorio: Biól. Norberto Pastén M., Ocean. Miguel Robles M. y Biól. Miguel Serralde G.

Este proyecto fue patrocinado por la Dirección General de Investigación Científica y Superación Académica de la Secretaría de Educación Pública.

Mayra Pamplona hizo la traducción al inglés.

LITERATURA CITADA

ABBOT, I. A. y E. Y. Dawson. 1956. How to know the seaweeds. The Pictured Key Nature Series. Wm. C. Brown Company Publishers, Dubuque, Iowa.

ADAMS, J. R. 1969. Ecological investigations around some thermal power stations in California tidal waters. Chesapeake Science, 10 (3-4) : 145-154.

ADAMS, J. R.; H. J. Gormly y M. J. Doyle. 1971. Thermal investigations in California. Marine Pollution Bulletin (NS) 9 : 140-142. -142.

BARNETT, P. R. y B. L. Hary. 1969. The effects of temperature on the benthos near the Hunterston Generating Station Scotland. Chesapeake Science 10 (3-4) : 255-256.

6. Some measures must be taken to stop the thermal discharge from reaching the marine organisms with such high temperatures. Some useful suggestions might be:

a) Make cooling lagoons for the discharge before it contacts the marine ecosystem.

b) Mix the discharge water with cold sea water.

c) Have a submerged discharge, for in this way the hottest water would distribute throughout the superficial water column and it at least will not affect so greatly the benthic community organisms.

ACKNOWLEDGEMENTS

I want to thank the following persons for their work in the field and the laboratory: Norberto Pastén, Miguel Robles and Miguel Serralde.

This project was financially supported by the Dirección General de Investigación Científica y Superación Académica of the Secretaría de Educación Pública.

Myra Pamplona translated this paper into English.

BRUSCA, R. C. 1973. A handbook to the common intertidal invertebrates in the Gulf of California. The University of Arizona Press.

CAYOT, R. F. y W. J. North. 1968. Oceanographic background study at Diablo Canyon nuclear power plant site. P. G. and E. Department of Engineering Research. Report No. 6242. 4-68.

COUTANT, C. C. 1970. Biological aspects of thermal pollution entrainment and discharge canal effects. C.R.C. Critical Review in Environmental Control. Nov. 340-381.

CUPP, E. E. 1943. Marine plankton diatoms of the west coast of North America. Bull. Scripps Inst. Ocean. Univ. Cal. 1-238.

- DUFFY, J. M. 1970. The marine environment in the vicinity of the San Onofre nuclear generation station. MRR. Ref. No. 70-1.
- EBERT, E. E. 1966. An evaluation of marine resources, Point Buchon to Point San Luis, with special reference to abalone in the Diablo Canyon area. Calif. Dept. Fish. and Game. MRO. Ref. 66-11; 16pp.
- LEBOUR, M. V. 1925. The dinoflagellates of northern seas. Marine Biol. Assoc. of the United Kingdom. Plymouth.
- LEIGHTON, D. L.; L. G. Jones and W. J. North. 1966. Ecological relationships between giant kelp and the sea urchins in Southern California. New York. Pergamon Press.
- MARSHALL, W. L. 1971. Thermal discharges: characteristics and chemical treatment of natural waters used in power plants. Oak Ridge Nat. Lab. Tennessee. ORNL-4652: 12pp.
- MATHUR, D y W. Robins. 1980. Assessment of thermal discharges on zooplankton in Conowingo Pond, Pennsylvania. Can. J. Fish. Aq. Sc. Vol. 37. No. 6 : 937-944.
- MOBAREK, J. 1966. Referido en Adams, J. R. 1971. Investigations related to the effects of the proposed power plant of Mendocino on the marine environment. P. G. and E. Co. USA.
- NORTH, W. J. 1969. Biological effects of a heated water discharge at Morro Bay, California. New York. Pergamon Press. 275-286.
- NORTH, W. J. y J. R. Adams. 1969. The status of thermal discharges on the Pacific coast. Chesapeake Science. 10 (3-4). 139-144.
- PEARCE, J. B. 1969. Thermal adition and the benthos. Cape Code Can. Chesapeake Science. 10 (3-4) : 227-233.
- REEVES, J. N. 1970. Effects of thermal discharge from the San Onofre generating station. 25th. Annual Purdue Industrial Waste Conference. Laffayette, Indiana, May 5-7, 1970.
- SCHOWOERBEL, J. 1975. Investigación cuantitativa de fitoplancton. En: Blume (Ed). Métodos de Hidrobiología. Madrid. pp. 73-87.
- SHANNON, C. A. y J. Weaver. 1969. The mathematical theory of communication. Univ. of Ill. Press.
- SMITH, D. L. 1977. A guide to marine coastal plankton and marine invertebrate larvae. Kendall Hunt Publishing Co. Dubuque, Iowa.
- STEINDINGER, K. A. and J. Williams. 1970. Dinoflagellates. Mem. Hourglar Cruises. Mar. Res. Lab. St. Peterburg. 2:1-251.
- STOCKER, H. S. y Seager S. L. 1981. Química ambiental: Contaminación del aire y del agua. Ad. Blume. 1ra. Ed. España.
- STRICKLAND, J. D. H. and T. R. Parson. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Fish. Res. Board. Can. Bull. 167. Ottawa.
- TESTER, L. A. y K. Steindinger. 1971. Phytoplankton 1971-1973. In: Futch C. R. Nearshore marine ecology at Hutchinson Island, Florida. Fl. Dept. Nat. Res. Lab. 34: pp. 16-61.
- THOMPSON, D. A. y N. McKibbin. 1978. Peces del Golfo de California. CICTUS. Uni-Son. Hermosillo, Son.
- TURK, A.; Turk, J. y Wittes J. Ecology, pollution, environment. 1972. W. B. Saunders Co. USA.
- UTERMOHL, H. 1936. Quantitative methoden zur untersuchung des nannoplanktons. Abderhelens Handbush der Arbeits methoden. Abt. IX. T. 1. 2-11 pp.
- ZELLER, R. W. y R. L. Rulifson. 1970. A survey of California coastal power plants. U. S. dep. Int. Oregon. 56 pp.