

**CONTRIBUCION AL ESTUDIO DE LA CONTAMINACION
ORGANICA MARINA DE LA BAHIA DE TODOS SANTOS,
BAJA CALIFORNIA.**

**CONTRIBUTION TO THE STUDY OF ORGANIC
MARINE POLLUTION IN BAHIA DE TODOS SANTOS,
BAJA CALIFORNIA**

F. Eduardo Donath-Hernández ¹
Daniel H. Loya-Salinas ²

¹ Departamento de Ecología Marina
Centro de Investigaciones de Quintana Roo (CIQRO)
Apartado Postal 886
Cancún, Quintana Roo, C.P. 77500, México

² Departamento de Ecología
Centro de Investigación Científica y de
Educación Superior de Ensenada (CICESE)
Apartado Postal 2732
Ensenada, Baja California, C.P. 22830, México

Donath-Hernández, F.E. y Loya-Salinas, D.H. Contribución al estudio de la contaminación orgánica marina de la Bahía de Todos Santos, Baja California. Contribution to the Study of Organic Marine Pollution in Bahía de Todos Santos, Baja California. Ciencias Marinas, 15(1):73-88, 1989.

RESUMEN

El efecto de la contaminación orgánica en el medio ambiente marino de un sector de la Bahía de Todos Santos, Baja California, fue determinada a través del estudio de 28 muestras de bentos y sedimento colectadas en octubre de 1979 y mediante el uso del Índice Trófico de la Infauna (Word, 1978). Los valores del índice variaron de 0.00 a 86.22 con una correlación inversamente proporcional con el contenido de materia orgánica en los sedimentos, registrándose los valores más bajos en el interior del Puerto de Ensenada.

El alto contenido de materia orgánica en el interior del Puerto dió a conocer dos situaciones: una biomasa elevada de la infauna (8.7 a $32.6\text{g}/0.1\text{m}^2$) y condiciones anóxicas en donde ningún vestigio de macrofauna fue observado. En general, los índices mayores de 60 se registraron a partir del Arroyo El Gallo, con porcentajes de sólidos volátiles y biomasa que no excedieron el 2.1% y $2.4\text{g}/0.1\text{m}^2$, respectivamente. De acuerdo al criterio de Bascom *et al.* (1978) se determinaron las siguientes condiciones ambientales: un área "normal" con índices de 61 a 86 que abarcó una de las estaciones más expuestas del Puerto y que se extendió mas allá de la boca del Estero de Punta Banda; un área "perturbada" con índices de 40 a 46 registrada al centro de la dársena portuaria, y un área "dañada" con índices de 0 a 9 localizada en la porción noroeste de la dársena portuaria frente a los muelles de cabotaje.

ABSTRACT

The effect of organic pollution in the marine environment in one sector of Bahía de Todos Santos, Baja California, was determined by the analysis of 28 samples of benthos and sediment collected in October 1979 and by the use of the Infaunal Trophic Index (Word, 1978). The Index values varied from 0.00 to 86.22 with a correlation inversely proportional to the organic matter content in the sediments, recording the lowest values in the interior of the Ensenada Harbor.

The high contents of organic matter inside the harbor showed two situations: a high infaunal biomass (8.7 to 32.6g/0.1m²) and the anoxic conditions where no macrofaunal traces were observed. In general, indexes higher than 60 were recorded in Arroyo El Gallo, where the percentages of volatile solids and biomass did not exceed more than 2.1% and 2.4g/0.1m², respectively. According to Bascom *et al.* (1978) the following environmental conditions were determined: a "normal" area with indexes from 61 to 86, which included one of the most exposed stations of the harbor and which extended further out than the mouth of the Estero de Punta Banda; a "changed" area with indexes from 40 to 46, recorded in the center of the harbor, and a "degraded" area with indexes from 0 to 9, located in the northeastern part of the harbor, in front of the quays.

INTRODUCCION

Notables avances en la investigación de las modificaciones del medio ambiente marino han sido logrados mediante la aplicación de diferentes métodos biológicos sobre las comunidades de los invertebrados bentónicos (Stirn *et al.*, 1975). Uno de estos métodos, el de las especies indicadoras de contaminación (por ejemplo: anélidos bentónicos) ha sido aplicado ampliamente en diferentes regiones (Wilhelmi, 1916; Filice, 1954; Reish, 1955, 1957, 1960; Word *et al.*, 1977). Sin embargo, la utilización de una o más de tales especies muestra serias desventajas, pues su presencia no se restringe a las áreas contaminadas (Reish, 1970; Stirn, 1970). Lo mismo se aplica a los índices de diversidad (análisis estructural de la comunidad), cuyos valores pueden ser semejantes en áreas grandemente afectadas como en áreas no influenciadas por presiones de esta naturaleza (Howmiller y Scott, 1977; Bellan y Reish, 1978).

Durante el desarrollo de este estudio y aún en la actualidad, la Bahía de Todos Santos se encuentra bajo la influencia de fuentes de contaminación como son aguas residuales domésticas, industriales y mixtas (Nishikawa, 1978; Sañudo-Wilhelmy *et al.*, 1985), cuyos vertidos se han visto principalmente incrementados por el acelerado crecimiento demográfico e industrial de la ciudad

INTRODUCTION

Considerable progress has been achieved in the study of marine environment modifications by the use of different biological methods on benthic invertebrate communities (Stirn *et al.*, 1975). One of these methods is the use of species (benthic annelids, for example) as indicators of pollution. This method has been widely used in different regions (Wilhelmi, 1916; Filice, 1954; Reish, 1955, 1957, 1960; Word *et al.*, 1977). However, the use of one or more of such species represents important disadvantages because their presence is not limited to polluted areas (Reish, 1970; Stirn, 1970). This also applies to the diversity indexes (structural analysis of the community), whose values can be similar in areas highly affected as well as areas not influenced by strains of this nature (Howmiller and Scott, 1977; Bellan and Reish, 1978).

During this study and at the present time, Bahía de Todos Santos is under the influence of sources of pollution such as domestic, industrial and mixed waste water discharges (Nishikawa, 1978; Sañudo-Wilhelmy *et al.*, 1985). The discharges have increased due to the rapid demographic and industrial growth of the city of Ensenada. Among these discharges, those of biogenic and biodegradable matter have prevailed (Nishikawa, 1978; Segovia-Zavala, 1984).

de Ensenada. Entre estas descargas se ha destacado la predominancia de aquellas de material biogénico y biodegradable (Nishikawa, 1978; Segovia-Zavala, 1984).

El impacto de estas últimas descargas a la bahía fue estudiado por Lizárraga-Partida (1974), quien utilizó a los anélidos poliquetos como indicadores, designando cinco tipos de fondo de acuerdo al nivel de contaminación. Sin embargo, su área de estudio se restringió a la dársena del Puerto de Ensenada. En este trabajo, el área comprendió tanto la dársena portuaria como una mayor extensión en dirección sur a lo largo de la costa (Fig. 1).

En vista de la antigüedad del estudio, es nuestro objetivo crear un antecedente sobre las condiciones del fondo prevalecientes en el otoño de 1979 en relación a la contaminación orgánica en un sector de la Bahía de Todos Santos.

AREA DE ESTUDIO

La Bahía de Todos Santos, Baja California, se localiza entre los $31^{\circ} 40'$ a $31^{\circ} 55'$ N y los $116^{\circ} 36'$ a $116^{\circ} 50'$ W (Fig. 1). El límite interno de la bahía es somero y está caracterizado por playas arenosas. Los sedimentos en la dársena portuaria son principalmente del tipo lodoso. Al sureste se localiza el Estero de Punta Banda, una laguna costera paralela a la costa y separada por una barra de arena de aproximadamente 7.5km de largo y cuyas aguas, por lo general de mayor temperatura y salinidad, influyen sobre aquellas adyacentes de la bahía durante la primavera y verano. La variación anual de la temperatura superficial es de 5.5°C , con un mínimo de 14°C en Marzo y un máximo de 20°C en Agosto. La salinidad varía de $33.40/00$ en los meses de invierno a $33.70/00$ durante la primavera y verano, con registros hasta de $34.70/00$ durante los meses de Julio y Agosto (Contreras, 1973).

METODOLOGIA

En Octubre de 1979 se colectaron muestras de sedimento mediante dos lances de una draga Van Veen modificada (0.1m^2) en cada una de 28 estaciones de un sector de la Bahía de Todos Santos. Las estaciones se dis-

The impact of these discharges in the bay have been studied by Lizárraga-Partida (1974), who used polychaetous annelids as indicators, assessing five different bottom types according to the pollution level. However, the studied area was limited to the Ensenada Harbor. In this study, the area comprises the harbor as well as a greater extension southward along the coast (Fig. 1).

The purpose of this study is to create a background on the marine bottom conditions prevailing in autumn, 1979, in relation to the organic pollution in one sector of Bahía de Todos Santos.

STUDY AREA

Bahía de Todos Santos, Baja California, is located between $31^{\circ} 40'$ to $31^{\circ} 55'$ N and $116^{\circ} 36'$ to $116^{\circ} 50'$ W (Fig. 1). The internal limit of the bay is shallow, and it is characterized by sandy beaches. The sediments inside the harbor are mainly of the muddy type. Estero de Punta Banda is located in the southeast; a coastal lagoon parallel to the coast and separated by a sand bar approximately 7.5km long. Its waters are generally warmer and more saline and influence the adjacent waters of the bay during spring and summer. The annual variation of the surface temperature is of 5.5°C , with a minimum of 14°C in March and a maximum of 20°C in August. The salinity varies from $33.40/00$ during the winter months to $33.70/00$ during spring and summer, with records of up to $34.70/00$ during July and August (Contreras, 1973).

METHODS

In October 1979, sediment samples were collected with a modified (0.1m^2) Van Veen dredge, casted twice in each of the 28 stations in one sector of Bahía de Todos Santos. The stations were distributed along the 6.6 and 13.0m isobaths, including the harbor as well as Arroyo El Gallo, El Ciprés and the mouth of the Estero de Punta Banda (Fig. 1). The biological matter was obtained by sieving one of the samples from each station with two meshes, with apertures of 1.0mm and 0.5mm.

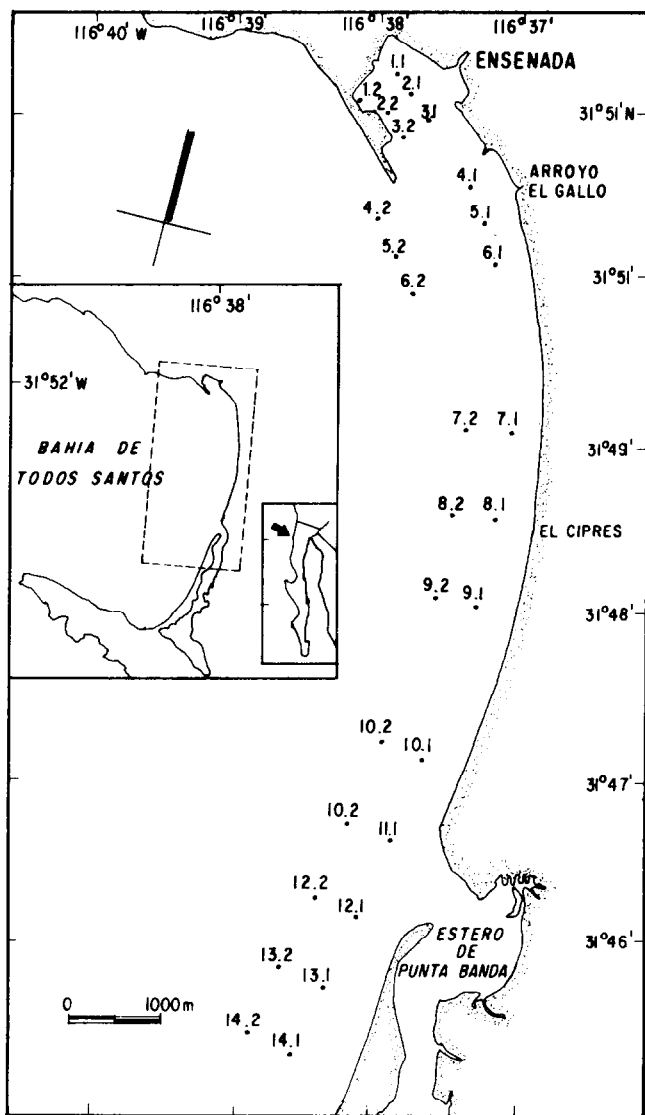


Figura 1. Localización del área de estudio, incluyendo la posición de las estaciones de muestreo.
Figure 1. Location of the study area, including the position of the sampling stations.

tribuyeron a lo largo de las isobatas de los 6.6 y 13.0m, abarcando además de la dársena portuaria las localidades Arroyo El Gallo, El Ciprés y la boca del Estero de Punta Banda (Fig. 1). El material biológico se obtuvo tamizando una de las muestras de cada estación usando dos mallas, de 1.0mm y de 0.5mm de abertura. Los organismos retenidos se fijaron y

The obtained organisms were fixed and preserved in a neutralized formaldehyde solution (10%) and ethylic alcohol (70%), respectively. After separating the organisms by taxonomic groups, their wet biomass was measured.

The content of organic matter in the sediments was measured as Oxygen Biochemi-

preservaron en una solución de formol neutralizada al 10% y de alcohol etílico al 70% respectivamente. Después de la separación de los organismos por grupos taxonómicos, fue determinada su biomasa húmeda.

El contenido de materia orgánica en los sedimentos se midió como Demanda Bioquímica del Oxígeno (DBO₅) y Porcentaje de Sólidos Volátiles (SV%) de acuerdo a Schaffer (1979). Para la determinación del Índice Trófico de la Infauna (ITI) sólo se utilizó el material retenido en el tamiz de mayor abertura de malla.

El ITI es una descripción numérica de la abundancia relativa de los organismos dominantes de la infauna (número mínimo de especies requeridas para cuantificar en un 60% el número total de individuos colectados), agrupados de acuerdo a sus estrategias alimentarias. Los organismos identificados fueron agrupados de acuerdo al criterio antes mencionado en: 1) alimentadores de materia orgánica en suspensión; 2) de suspensión y de depósito superficial; 3) estrictamente de depósito superficial; y 4) de depósito subsuperficial.

Los conteos de los grupos así obtenidos fueron colocados en la fórmula de Word (1978).

$$ITI = 100.0 - \left(33.3 * \left(\frac{0n_1 + 1n_2 + 2n_3 + 3n_4}{n_1 + n_2 + n_3 + n_4} \right) \right)$$

En donde: n_i es el número de individuos en el i -ésimo grupo. Los coeficientes en el numerador de la ecuación (0, 1, 2, 3) son simplemente factores escalares que funcionan para generar un intervalo de valores del ITI (0 a 100), el cual cambia de manera gradual y homogénea de acuerdo a las estrategias alimentarias de la infauna. En base a los resultados de Bascom *et al.* (1978), se considera a un área como "normal", cuando los valores del índice se presentan en un intervalo de 60 a 80. La fauna bentónica restante (cuando el intervalo es de 80 a 100) está dominada completamente por organismos alimentadores de suspensión. Los valores de 30 a 60 designan a un área como "perturbada". Por último, un

cal Demand (DBO₅) and Volatile Solid Percentages (SV%), according to Schaffer (1979). To determine the Infaunal Trophic Index (ITI), only the organic matter sieved with the biggest mesh was used.

The ITI is a numeric description of the relative abundance of the dominant infaunal organisms (minimum number of species required to quantify in a 60% the total number of collected individuals), grouped according to their feeding strategies. The identified organisms were grouped according to the above mentioned criterion, in: 1) feeders of organic matter in suspension, 2) of organic matter in suspension and of surface deposit, 3) strictly of surface deposit, and 4) of subsurface deposit.

The enumerations of these groups were placed in Word's (1978) formula.

Where: n_i is the number of individuals in the i -th group. The coefficients in the numerator of the equation (0, 1, 2, 3) are merely scale factors which serve to generate a range of ITI values (0 to 100), which changes gradually and homogeneously according to the infaunal feeding strategies. Based on results by Bascom *et al.* (1978), an area is considered "normal" when the index values appear in a range of 60 to 80. The remaining benthic fauna (when the range is from 80 to 100) is entirely dominated by suspension-feeding organisms. Values from 30 to 60 indicate a "changed" area. Finally, an area is considered as "degraded" when the values range from 0 to 30.

área es considerada como "dañada", cuando los valores se encuentran comprendidos entre 0 y 30.

RESULTADOS Y DISCUSION

La influencia de factores tales como la profundidad, el oleaje en aguas de poca profundidad y el tipo de sedimento, generalmente involucrados en la composición y estructura así como en la estabilidad de las comunidades bentónicas, han sido criterios ampliamente considerados en el establecimiento del primer intervalo de profundidad (20 a 200m) en el que debe de ser aplicado el ITI (Bascom *et al.*, 1978). Sin embargo, el uso del método ya ha sido extendido a los 800m de profundidad (Word, 1980). En nuestro caso, a pesar de haberse trabajado a profundidades menores (6 a 13m), la mayoría de las especies identificadas no difirieron notablemente de aquellas regularmente citadas para fondos arenosos y/o lodosos de la plataforma continental del Sur de California (EUA), ya sea a profundidades similares o en aguas de mayor profundidad (Smith, 1973).

Lo anterior permitió la agrupación de las especies de acuerdo a la lista de taxas requerida para la obtención del índice (Tabla I). En la Tabla II se incluye un ejemplo de los datos utilizados en el cálculo del ITI por estación, así como el porcentaje de los datos utilizados en el cálculo del ITI por estación, y el porcentaje de abundancia representado del total de la muestra. Los cuatro grupos resultantes (Tabla I) estuvieron representados por un total de 28 taxa con 58 especies que representaron un porcentaje promedio del 67% (intervalo de 40% a 80%) del número total de individuos colectados por muestra.

Los valores del índice variaron de 0.00 a 86.22 (Tabla III). Su correlación con los porcentajes de sólidos volátiles fue inversamente proporcional ($r = -0.91$), habiéndose registrado los valores más bajos en el interior del Puerto. No hubo correlación significativa con los pocos valores de DBO₅ obtenidos, sin embargo, se considera que ante los valores del índice menores de 50 la Demanda Bioquímica de Oxígeno puede ser un factor importante en su variación (Word, 1978). El alto contenido

RESULTS AND DISCUSSION

The influence of factors such as depth, waves in shallow water and the type of sediment, generally involved in the composition and structure as well as in the stability of benthic communities, have been criteria widely considered in the establishment of the first depth range (20 to 200m) in which the ITI must be applied (Bascom *et al.*, 1978). However, the use of this method has already been extended to a depth of 800m (Word, 1980). In this study, even though the work took place at minor depths (6 to 13m), most of the identified species did not differ considerably from those generally mentioned for sandy and/or muddy bottoms of the continental platform in the southern part of California (USA), either at similar depths or in deeper waters (Smith, 1973).

The former findings made possible the grouping of species according to the list of taxas needed for the obtention of the index (Table I). Table II shows an example of the data used for the ITI calculation by station, as well as the percentages of the data for the calculation of the ITI by station, and the represented abundance percentage of the sample total. The four resultant groups (Table I) were represented by a total of 28 taxa with 58 species, which represented a mean percentage of 67% (40% to 80% range) from the total number of individuals collected by sample.

The index values varied from 0.00 to 86.22 (Table III). The correlation with the percentages of volatile solids was inversely proportional ($r = -0.91$). The lowest values were recorded inside the harbor. No significant correlation was found with the scarce DBO₅ values obtained, however, it is considered that with index values lower than 50, the Biochemical Demand of Oxygen can be an important factor in its variation (Word, 1978). The high contents of organic matter in the interior of the harbor showed two situations: an infaunal bioestimulation, resulting from a very rich biomass of a small group of species (8.7 to 32.6g/0.1m²) and the existence of anoxic conditions where no traces of macrofauna were observed.

Tabla I. Ejemplo del cálculo del ITI en cinco estaciones seleccionadas, y con una indicación del porcentaje de la infauna que está considerado en cada caso.

Table I. Example of the ITI calculation in five selected stations, and with an indication of the infaunal percentage considered in each case.

GRUPO I	
(polychaeta)	(amphipoda)
Amphyteis scopobranchiata	Ampelisca sp.
Ampharete labrops	Paraphoxus sp.
Axiotella sp.	Phoxocephalus sp.
Nothoria elegans	(ophiuroidea)
Diopatra splendissima	Amphiodia digitaria
Diopatra sp.	Amphiodia sp.
Owenia collaris	(mollusca)
Owenia fusiformis	Nemocardium centifilosum
	(phoronida)
	spp. ni.
(10 taxa , 16 esp.)	
GRUPO II	
(polychaeta)	
Anatomastus gardioides	Pseudopolydora paucibranchiata
Mediomastus ambisetus	Polydora socialis
Thorix tessellata	Spiophanes missionensis
Chaetozone setosa	Laonice cirrata
Glycera branchiopoda	Scolecopsis squamata
Goniada brunnea	Dispio uncinata
Magelona sacculata	(cumacea)
Magelona pitelkai	Campylopsis sp.
Nephtys caecoides	Diastylopsis tenuis
Nephtys parva	Lampros quadruplicata
Cirriformia spirabranchia	Oxyurostylis pacifica
Habloscoplos elongatus	(ostracoda)
Cistena californiensis	Parasterope hulingsi
Apoprionospio pygmaeus	Rotiderma rostrata
Paraprionospio pinnata	Euphilomedes carcharodonta
Minuspio cirrifer	(isopoda)
Spiophanes bombix	Photis sp.
Goniada littorea	
Prionospio heterobranchia newportensis	
(11 taxa , 33 esp.)	
GRUPO III	GRUPO IV
(mollusca)	(polychaeta)
Nuculana sp.	Capitella capitata
Macoma nasuta	Armandia bioculata
Macoma carlotensis	(oligochaeta)
Parvilucina tenuisculpta	spp. ni.
(polychaeta)	(3 taxa , 3 esp.)
Spiochaetopterus costarum	
Cheylonereis sp.	
(4 taxa , 6 esp.)	

Tabla II. Agrupación de las especies usadas para la determinación del ITI (de profundidades menores de 20m) para la Bahía de Todos Santos.

Table II. Grouping of the species used for the determination of the ITI (of depths less than 20m) for Bahía de Todos Santos.

GRUPOS	ESTACION				
	1.1	2.1	4.2	8.1	10.1
GRUPO I					
Maldonidae					
Onuphidae		1			3
Ampharetidae			5	1	
Terebellidae					
Owenia			1	4	
Sabellidae					
Serpulidae					
Nemocardium				1	
Crenella					
Amphipholis					
Amphiodia			6		3
Cucumaria					
Caprellida					
Ampelisca					
Byblis					
Phoxocephalidae			2	12	80
Phoronida		1	3	4	
n_1	0	2	17	22	86
GRUPO II					
Spionidae		1	12	23	15
Magelonidae			4	6	1
Cirratulidae			17	2	3
Myriochele					
Orbiniidae			9	1	
Capitellidae		9	1		
Nephtys					1
Glycera				4	1
Goniada			15		
Axinopsida					
Mysella					
Galfingia					
Tanaids					
Ostracods			4		
Cumaceans		1	2	16	5
Photis				2	18
Cistena		6	4	2	
n_2	0	17	64	56	44
GRUPO III					
Travisia					
Nereidae					5
Chaetopteridae			4	1	3
Parvilucina		1			
Macoma		58			
Nuculana			15		
Nucula					
Yoldia					
Bittium					
n_3	0	59	19	1	8
GRUPO IV					
Capitella	17	1			
Armandia					2
Ammatrypanne					
Oligochaeta	2				
Solemya					
Stenothoidae					
n_4	17	3	0	0	2

GRUPOS	ESTACIONES				
	1.1	2.1	4.2	8.1	10.1
I	0	2	17	22	86
II	0	17	64	56	44
III	0	59	19	1	8
IV	17	3	0	0	2
CALCULO DEL ITI	1.1	2.1	4.2	8.1	10.1
$\sum n_i$	17	81	100	79	140
$\sum cn_i$	51	144	102	58	66
ITI	0	40.74	66.00	75.53	84.29
ABUNDANCIA TOTAL	19	94	156	124	348
PORCENTAJE TOTAL	89.47	86.17	64.10	63.71	40.23

Tabla III. Relación de los valores de cada uno de los parámetros del sedimento en las estaciones de las cuatro zonas (DP, AG, CI, y BE).

Table III. Record of the values of each of the sediment parameters in the stations of the four zones (DP, AG, CI, and BE).

ZONAS	EST.	ITI	BIOMASA gr./0.1m	S. V. (%)	D B O mg/kg. p.s.
D P	1.1	1	0.95	9.81	
	1.2	0.00		10.78	
	2.1	40.74	18.42	6.91	
	2.2	9.33	1.94	6.07	1243.73
	3.1	46.24	32.68	7.45	1205.77
	3.2	61.01	8.78	3.98	
A G	4.1	86.22	0.32	1.04	
	4.2	66.00	1.29	1.69	
	5.1	71.24	1.17	2.13	499.12
	5.2	67.97	0.34	1.84	390.22
	6.1	76.39	0.23	0.80	
	6.2	62.04	0.57	1.75	
C I	7.1	70.59	0.72	0.92	
	7.2	71.43	0.99	2.39	
	8.1	75.53	0.57	1.01	498.84
	8.2	71.48	0.64	1.01	390.22
	9.1	76.39	0.50	0.80	
	9.2	79.41	0.60	0.86	
B E	10.1	84.29	0.58	0.63	
	10.2	78.72	0.56	1.03	
	11.1	74.77	1.41	1.02	531.42
	11.2	80.56	0.41	0.84	255.80
	12.1	77.78	0.89	0.87	
	12.2	74.29	0.86	0.85	
	13.1	78.18	1.66	1.06	
	13.2	76.60	1.57	0.94	
	14.1	74.71	0.93	1.08	179.30
	14.2	77.36	2.44	0.87	902.57

de materia orgánica en el interior del Puerto dió a conocer dos situaciones: una bioestimulación en la infauna, resultante en una biomasa elevada de un grupo pequeño de especies (8.7 a 32.6g/0.1m²) y la existencia de condiciones anóxicas en donde ningún vestigio de macrofauna fue observado.

Generalmente, la variación en la biomasa de los organismos bentónicos es una de las principales respuestas medidas en los sitios de descarga de aguas residuales (Baskin *et al.*, 1978). Excedentes de materia orgánica por arriba del óptimo en el que dichos incrementos de biomasa (independientemente del organis-

In general, the variation in the biomass of the benthic organisms is one of the most important results obtained in the waste water discharge sites (Baskin *et al.*, 1978). The excess of organic matter, above the optimum in which such biomass increases (independently of the organism or dominant group), results in adverse effects with the consequent damage in the biota. The existence of anoxic conditions (abiotic bottom) in the interior of the harbor was also indicated by Lizárraga-Partida (1974). Such conditions are the result of a considerable deposit of organic matter in areas of low energy and where oxidation demands oxygen concentrations higher than

mo o grupo dominante) resultan en efectos adversos con el consiguiente daño en la biota. La existencia de condiciones anóxicas (fondo abiótico) en el interior del Puerto fue también señalado por Lizárraga-Partida (1974). Tales condiciones son el resultado de una marcada deposición de materia orgánica en áreas de poca energía y cuya oxidación demanda concentraciones de oxígeno mayores a las disponibles. La dársena además de carecer de un sistema de circulación eficiente no es sólo receptora de las aguas residuales que se vierten. Actualmente se conoce que también lo es del material contaminante de las descargas que convergen en el Arroyo El Gallo y aquellas de las pesqueras Peninsular-Galicia, y que es conducido al interior de la dársena portuaria a través del transporte litoral y el efecto de difracción del oleaje sobre el rompeolas del Puerto (Sañudo-Wilhelmy *et al.*, 1985). Cabe mencionar la posible influencia en la formación de fondos abióticos de cierto tipo de contaminantes como la salmuera, que debido a su alta densidad (-10°C aprox. y 14% de sal marina) desciende directamente al fondo de la dársena portuaria (Nishikawa, 1978).

Con excepción de una de las estaciones del Puerto (denominada 3.2), los valores del índice mayores que 60 se registraron hacia el Sur a partir del Arroyo El Gallo, con porcentajes de sólidos volátiles y biomasa que no excedieron el 2.1% y 2.4g/0.1m² respectivamente.

Un análisis de varianza (Elliot, 1977) de los valores del índice en forma agrupada de acuerdo a las diferencias localizadas y a cada isobata, permitió observar lo siguiente: los valores obtenidos en la dársena portuaria (DP) difirieron significativamente con respecto a las localidades Arroyo El Gallo (AG), el Ciprés (CI), y la boca del Estero de Punta Banda (BE). Así mismo, una diferencia significativa (excluyendo a la dársena portuaria) fue mostrada por la localidad Arroyo El Gallo en la isobata de los 13m. Los valores en estas tres últimas estaciones aunque por arriba de 60 (61 a 67), fueron las menores dentro del intervalo de valores encontrados, sugiriendo una tendencia de cambio en esa zona. Las diferencias mencionadas fueron mejor visua-

those available. The harbor, besides lacking an efficient circulation system, is not only a receiver of the waste waters discharged. Nowadays, it has been found that the harbor is also a receiver of polluted matter of the discharges that converge in Arroyo El Gallo and those from the Peninsular-Galicia fish industries, and that it is transported to the interior of the harbor through the littoral transport and the effect of wave diffraction over the breakwater of the harbor (Sañudo-Wilhelmy *et al.*, 1985). It is worth mentioning that the possible influence in the formation of abiotic bottoms of certain kind of pollutants such as the brine, which due to its high density (approximately -10°C and 14% of sea salt) descends directly to the bottom of the harbor (Nishikawa, 1978).

Except for one of the harbor stations (named 3.2), index values higher than 60 were recorded southward, starting from Arroyo El Gallo, with percentages of volatile solids and biomass of not more than 2.1% and 2.4g/0.1m², respectively.

Through a variance analysis (Elliot, 1977) of the index values in group form, according to the differences found and to each isobath, it was possible to observe the following: the obtained values in the harbor (DP) differed significantly with respect to the localities of Arroyo El Gallo (AG), El Ciprés (CI), and the mouth of Estero de Punta Banda (BE). Likewise, a significant difference (except for the harbor) was shown by the Arroyo El Gallo site at the 13m isobath. The values in these three last stations, even though higher than 60 (61 to 67), were the lowest in the range of values found, indicating a tendency of change in that zone. The mentioned differences were better observed through the variation of the median shown by the ITI value groups at each locality and in their respective isobaths (Fig. 2).

It is important to mention that, in general, the relation between the ITI and the chemical and biological parameters (Fig. 3) remained within the tendencies observed in the studies carried out at lower depths.

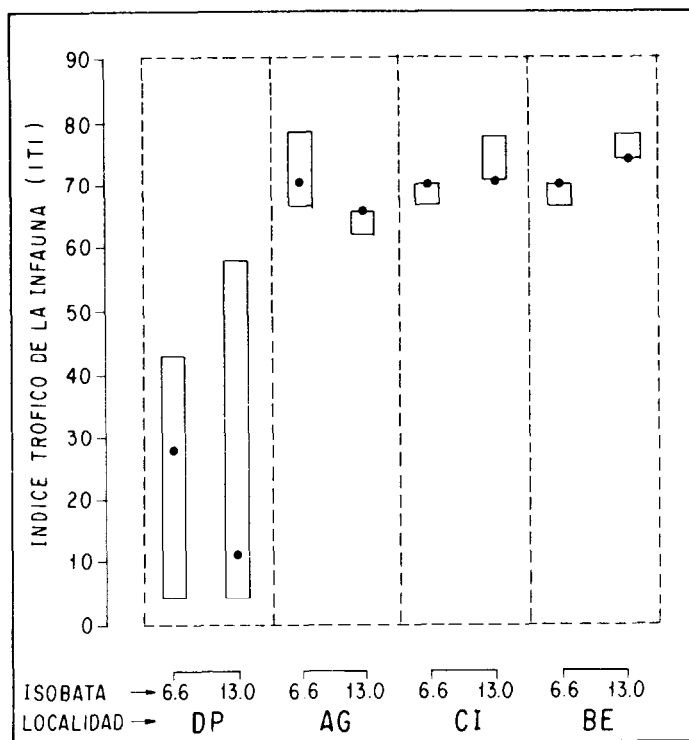


Figura 2. Variación de las medianas del ITI en las isobatas de 6.6 y 13.0m (cada barra está formada por: el cuartil inferior y el cuartil superior en los extremos, y un asterisco representando a la mediana).

Figure 2. Variation of the ITI medians in the 6.6 and 13.0m isobaths (each bar is formed by: the lower quartile and the upper quartile in the extremes, and an asterisk representing the median).

lizadas mediante la variación en torno a la mediana presentada por los grupos de valores del ITI en cada localidad y en sus respectivas isobatas (Fig. 2).

Es importante mencionar que en general, la relación entre el ITI y los parámetros químicos y biológicos (Fig. 3), se mantuvo dentro de las tendencias observadas en los estudios realizados a mayor profundidad.

Considerando el criterio de Bascom *et al.* (1978), se sugieren las siguientes condiciones ambientales: un área "normal", incluyó una estación del Puerto y se extendió hacia el sur a lo largo del sector estudiado (Fig. 4), caracterizada por un intervalo de valores del índice de 61 a 86, valores de biomasa menores

According to the Bascom *et al.* (1978) criteria, the following environmental conditions are suggested: a "normal" area, including one station of the harbor and extending southward along the studied sector (Fig. 4), characterized by a range of the index values of 61 to 86, lower biomass values and, in general, organic matter contents of less than 3g/0.1m² and 31%, respectively; a small "changed" area (40 to 46) limited to the harbor center, where a high infaunal biomass was found; and a "degraded" area (0 to 9) in front of the quays. In this last area (Fig. 4), four out of five bottom types found by Lizárraga-Partida (1974) were comprised. Part of one of these bottoms previously defined as semi-polluted, after six years (1974-1979), is very polluted. This was determined according to the dominant poly-

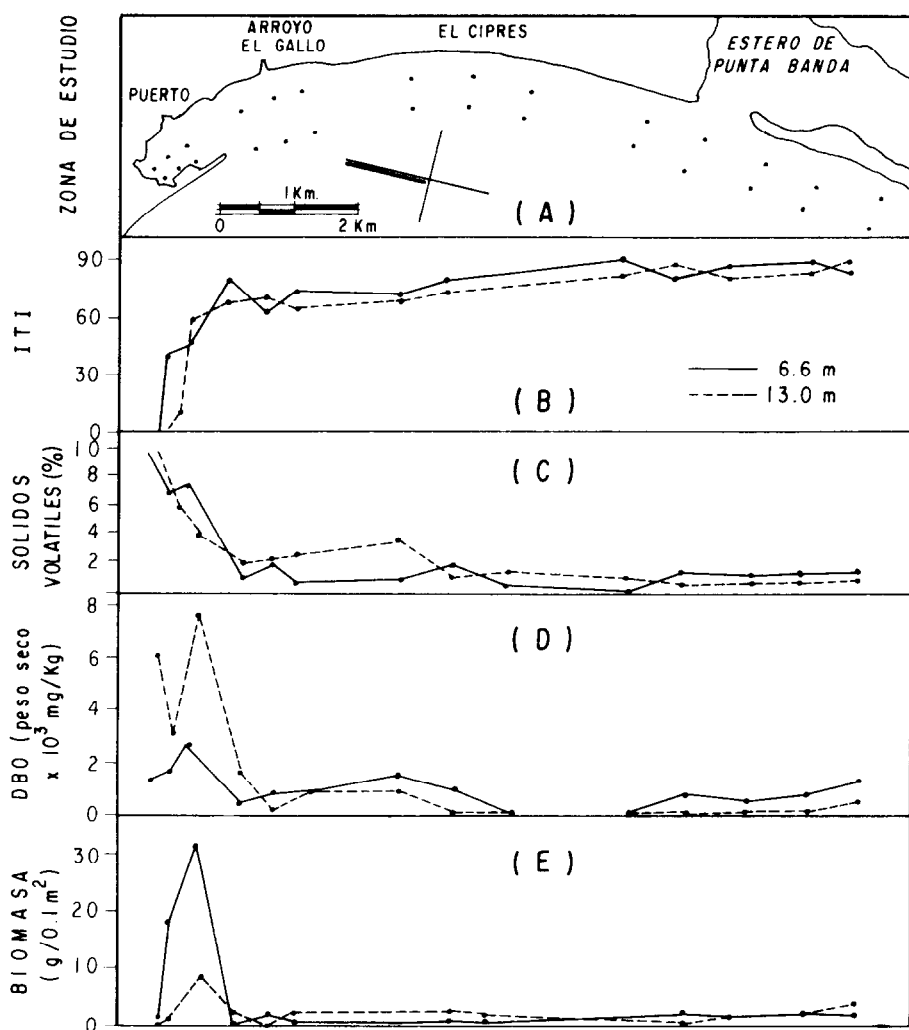


Figura 3. Condiciones de los sedimentos en el área de estudio (A), variación del ITI (B), y parámetros usados (C, D, y E).

Figure 3. Conditions of the sediments in the study area (A), ITI variation (B), and parameters used (C, D, and E).

y contenidos de materia orgánica generalmente menores que $3\text{g}/0.1\text{m}^2$ y el 31% respectivamente. Una pequeña área "perturbada" (40 a 46) restringida al centro de la dársena portuaria, en donde se presentó una alta biomasa de la infauna, y un área "dañada" (0 a 9) frente a los muelles de cabotaje. En esta última área (Fig. 4), quedaron comprendidos cuatro de los cinco tipos de fondo encontrados por Lizárraga-Partida (1974). Parte de

cheteous species at station 2.2, which are *Capitella capitata*, *Schistomeringos longicornis* (= *Dorvillea articulata*) and *Pseudopolydora paucibranciata*.

The study of this environmental problem in the bay has continued for the last ten years, and new schemes have arisen regarding the increase of the effects of organic pollution.

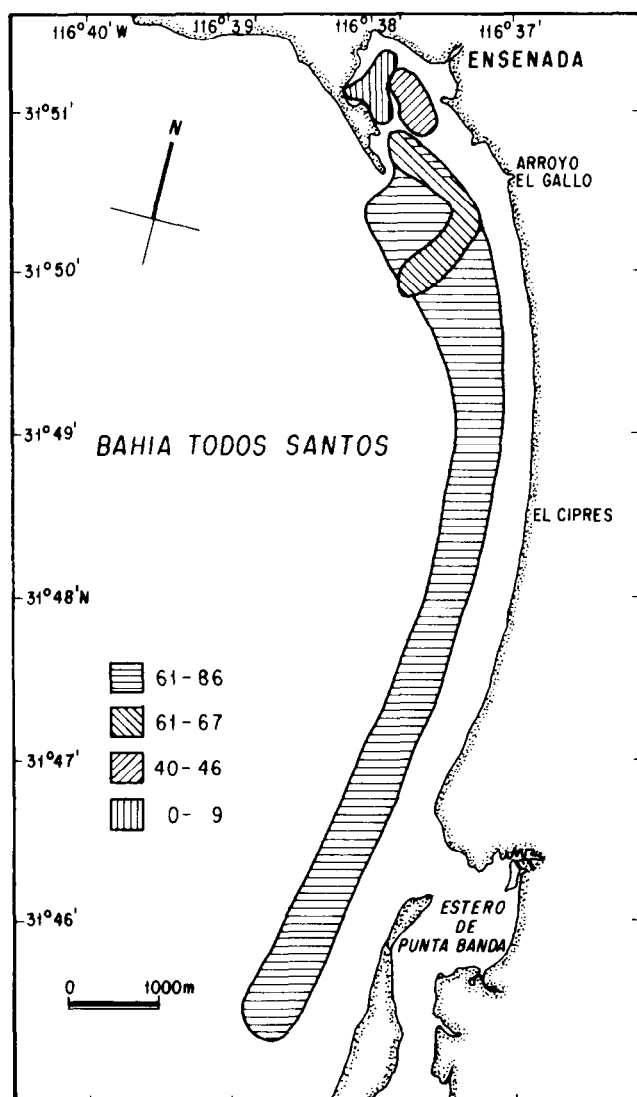


Figura 4. Condiciones detectadas en el área de estudio. Valores del Índice Trófico de la Infauna: área no afectada (ITI: 61-86); área de transición (ITI: 61-67); área perturbada (ITI: 40-46); y área dañada (ITI: 0-9).

Figure 4. Conditions detected in the study area. Infaunal Trophic Index values: "normal" area (ITI: 61-86); transition area (ITI: 61-67); "changed" area (ITI: 40-46); and "degraded" area (ITI: 0-9).

uno de estos fondos definido anteriormente como semicontaminado, después de seis años (1974-1979) es un fondo muy contaminado. Lo anterior lo determinamos atendiendo únicamente a las especies de poliquetos dominantes

One of these, the one by Rivera-Duarte and Arce-Duarte (cit. by Sañudo-Wilhelmy, 1985), is mainly based on the physical and chemical characteristics of the industrial and domestic discharges of the city of Ensenada. In its

en la estación 2.2 y que son *Capitella capitata*, *Schistomeringos longicornis* (= *Dorvillea articulata*) y *Pseudopolydora paucibranchiata*.

El estudio de este problema ambiental en la bahía ha continuado a través de los últimos diez años y nuevos esquemas sobre el avance de los efectos de la contaminación orgánica han surgido. Uno de estos, el de Rivera-Duarte y Arce-Duarte (cit. por Sañudo-Wilhelmy, 1985) está basado principalmente en las características físico-químicas de las descargas industriales y domésticas de la ciudad de Ensenada. En su esquema, la extensión del área muy afectada abarca lo que nosotros encontramos como "dañada" y "perturbada" (compare Figura 6 de Sañudo-Wilhelmy con Figura 4 de este estudio). En el área "normal" de nuestros resultados se presenta lo que ambos autores designaron como un área afectada y poco afectada.

No podemos asegurar que en realidad tales cambios han ocurrido en el fondo. Sin embargo, debido a que las comunidades bentónicas son en última instancia las receptoras de la "lluvia" de material orgánico o de cualquier otro tipo introducido en la superficie del océano, es de esperarse que las condiciones actuales serían reflejadas en un mayor o menor grado a través del Índice Trófico de la Infauna.

El ITI, los parámetros comunitarios, las matrices de similitud, los dendrogramas, la distribución log-normal, la técnica de la rarefacción, etc., son distintas estrategias numéricas que, aunque con diferente estructura, persiguen un objetivo común: describir o caracterizar la estructura de una comunidad, en relación a un factor o gradiente de interés, en este caso la contaminación. Se sugiere, por consiguiente, que es indispensable realizar un estudio comparativo entre el método aquí aplicado y los métodos ya mencionados, y analizar los resultados en cuanto a la cantidad y calidad de la información que cada uno proporciona, a manera de una validación general de este método.

scheme, the extent of the most affected areas includes those found herein as "degraded" and "changed" (compare Figure 6 by Sañudo-Wilhelmy with Figure 4 in this study). The results obtained in this study for the "normal" area, show what both authors defined as an affected and less affected area.

It is not a fact that such changes have occurred on the sea bottom. However, because the benthic communities are receivers of "rain" of organic matter or any other kind of matter introduced on the ocean surface, it is to be expected that the present conditions would be reflected to a greater or lesser degree by the Infaunal Trophic Index.

The ITI, the community parameters, the similarity matrixes, the dendrograms, the log-normal distribution, the rarefaction technique, etc., are different numeric strategies that, even though different in structure, pursue a common aim: to describe or characterize the structure of a community in relation to an interesting gradient factor, in this case, pollution. Therefore, it is suggested that it is essential to carry out a comparative study between the method applied herein and the other methods mentioned, and to analyze the results with respect to the quantity and quality of the information provided by each, to validate this method in general.

CONCLUSIONS

The ITI could be considered functional for depths lower than 20m (6m to 13m) in areas with characteristics similar to those studied.

Based on the ITI values, three zones can be defined within one sector of the bay: a) "degraded", (0-9) in front of the quays of the harbour, b) "changed", (40-46) limited to the harbor center, and c) "normal", (61-86) extended southward and along the coast.

ACKNOWLEDGEMENTS

We are grateful to Jack Q. Word, researcher at the time of this study of the Southern California Coastal Water Research

CONCLUSIONES

En áreas con características como la estudiada, el ITI puede ser considerado funcional para profundidades menores de 20m (6m a 13m).

En base a los valores del ITI, se pueden definir tres zonas dentro de un sector de la bahía: "dañada" (0-9) frente a los muelles de cabotaje de la rada portuaria, b) "perturbada" (40-46) restringida al centro del Puerto, y c) "normal" (61-86) extendida hacia el sur y a lo largo de la costa.

AGRADECIMIENTOS

A Jack Q. Word, en ese entonces investigador del Southern California Coastal Water Research Project (SCCWRP), Long Beach, California, por su dirección y respaldo. A nuestra ex-compañera Pamela Nilson por su constante apoyo en las actividades de campo y a Katsuo Nishikawa (QEPD) del CICESE, por sus acertadas opiniones y sugerencias. Este estudio fue realizado por el primer autor en CICESE como requisito para obtener el grado de Licenciado en Biología en la Facultad de Biología de la Universidad Veracruzana en 1981, y fue apoyado por una beca-tesis del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT).

LITERATURA CITADA

- Bascom, W., Mearns, A.J. and Word, J.Q. (1978) Establishing Boundaries between Normal, Changed and Degraded Areas. In: Annual Report, 1978. Southern California Coastal Water Research Project, p. 81-94.
- Baskin, J.N., Dailey, M.D., Murray, S.N. and Segal, E. (1978) The Urban Harbor Environment. In: The First Southern California Ocean Studies Consortium, p. 23-47.
- Bellan, C. and Reish, D.J. (1978) Techniques of Studying the Modifications of Biocenosis. Rev. Int. Oceanogr. Med. Tome I., p. 19-30.
- Contreras, R.I. (1973) Influencia termohalina de las aguas del Estero de Punta Banda en la Bahía de Todos Santos, Baja California. Tesis Profesional. Escuela Superior de Ciencias Marinas, UABC, 72 pp.
- Project (SCCWRP), Long Beach, California, for his direction and support. To our ex-colleague Pamela Nilson for her constant help in the field activities and to Katsuo Nishikawa (RIP) from CICESE, for his opinions and suggestions. This study was carried out at CICESE by the first author as part of his bachelor's degree from the Facultad de Biología of the Universidad Veracruzana in 1981, and was supported by a grant from the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT).
- English translation by Guadalupe González Boland.
- Elliot, J.M. (1977) Some Methods for the Statistical Analysis of Samples of Benthic Invertebrates. Freshwater Biological Association. 2nd Edition. Sci. Pub. No. 25, 156 pp.
- Filice, F.P. (1954) An Ecological Survey of the Castro Creek Area in San Pablo Bay. Wasmann J. Biol., 12: 1-24.
- Howmiller, R.P. and Scott, A. (1977) An Environmental Index Based on Relative Abundance of Oligochaetes Species. J. Water Poll., p. 809-815.
- Lizárraga-Partida, L.M. (1974) Organic Pollution in Ensenada Bay, Mexico. Mar. Poll. Bull., 5: 109-112.
- Nishikawa, K. (1978) Informe sobre la contaminación marina en la Bahía de Todos Santos y dársena de Puerto de Ensenada, Baja California. Sin publicar, 15 pp.
- Reish, J.D. (1955) The Relation of the Polychaetous Annelid to Harbor Pollution. Public Health Reports, 70: 116-117.
- Reish, J.D. (1957) The Relationship of the Polychaetous Annelid *Capitella capitata* (Fabricius) to Waste Discharges of Biological Origin. Cont. Allan Hancock Foundation No. 208: 195-200.
- Reish, J.D. (1960) The Use of Marine Invertebrates as Indicators of Water Quality. In: Proc. 1st Int. Conf. Waste Disposal in the Marine Environment, Berkeley, California, 1959. E.A. Pearson (ed.), Pergamon Press, Oxford, pp. 92-103.

Reish, J.D. (1970) A Critical Review of the Use of Marine Invertebrates as Indicators of Varying Degrees of Marine Pollution. FAO Technical Conference on Marine Pollution and its Effects on Living Resources and Fishing, 9-18 Dec. 1970. Rome, Italy. FIR:MP/70/R-9.

Sañudo-Wilhelmy, S.A., Rivera-Hinojosa, I. y del Valle-Villorín, J. (1985) Estado actual de la contaminación marina en la Bahía de Todos Santos, B.C. Diagnóstico y alternativas para su reducción y control. Reporte Técnico 85-01, UABC, Instituto de Investigaciones Oceanológicas, pp. 7-32.

Schaffer, M.A. (1979) Collection and Analysis of Chemical Data. In: 60-Meter Control Survey of Southern California Coastal. J.Q. Word & A.J. Mearns (eds). Southern California Coastal Water Research Project, El Segundo, Cal., USA, pp. 13-14.

Segovia-Zavala, J.A. y Galindo-Bect, M.S. (1984) Fuentes de contaminación por materia orgánica en la Bahía de Todos Santos, Baja California. Ciencias Marinas (México), 10: 19-26.

Smith, W.R. (1973) Numerical Analysis of Benthos Transect in the Vicinity of Waste Discharge in Outer Los Angeles Harbor. Marine Studies of San Francisco Bay, Cal., Part II. Allan Hancock Foundation and the Office of Sea Grant Programs, USC-SG-2-73, 41 pp.

Stirn, J. (1970) Biocenological Methods for Assessment of Marine Pollution and Problems of Indicator Species. FAO Technical Conference on Marine Pollution and its Effects on Living Resources and Fishing, 9-18 Dec., Rome, Italy. Paper #E-41, 9 pp.

Stirn, J.A., Kerzan, A.I., Marcotte, B.M., Meith-Avcin, N., Vraser, B. and Vukovich, S. (1975) Selected Biological Methods for Assessment of Marine Pollution. In: Marine Pollution and Marine Waste Disposal. E.A. Pearson and E.D.F. Frangipane (eds.), Pergamon Press, Oxford, pp. 307-327.

Wilhelmi, J. (1916) Übersicht über die Biologische Verteilung des Wassers. Ges. Naturf. Freunde Berlin, pp. 297-306.

Word, J.Q., Myers, J.T. and Mearns, A.J. (1977) Animals that are Indicators of Marine Pollution. In: Annual Report 1977, Coastal Water Research Project, pp. 199-206.

Word, J.Q. (1978) The Infaunal Trophic Index. In: Southern California Coastal Water Research Project, Annual Report, 1978, pp. 19-39.

Word, J.Q. (1980) Extension of the Infaunal Trophic Index to a Depth of 800 Meters. In: Southern California Coastal Water Research Project, Biennial Report, 1979-1980, pp. 95-101.