

DESCRIPCION DE LAS CONDICIONES OCEANOGRAFICAS DE LA BAHIA SAN VICENTE Y ANTECEDENTES SOBRE LOS EFECTOS DE LA CONTAMINACION

DESCRIPTION OF OCEANOGRAPHIC FEATURES OF SAN VICENTE BAY AND ACTUAL RECORDS ABOUT THE POLLUTION EFFECTS

Ramón Ahumada, Anny Rudolph*, Sandra Madariaga* y Franklin Carrasco***

RESUMEN

Se estudia y describen las condiciones oceanográficas de la bahía de San Vicente con énfasis en la distribución de variables hidrográficas (i.e., $S \times 10^{-3}$, temperatura, oxígeno disuelto, nutrientes y pH), corrientes (instantáneas), características de los sedimentos y distribución de la fauna béntica. Estos estudios están orientados a conocer los efectos de la contaminación ambiental producida por el sector industrial emplazado en su entorno y definir los conflictos de uso de recursos, producidos en el tiempo.

La heterogeneidad y carga de los contaminantes provenientes de una planta de acero, una petroquímica, industrias procesadoras de pescado, desechos domésticos, actividad portuaria, y otras industrias, son vertidos al mar sin tratamiento previo. La bahía muestra serias alteraciones ambientales, que se expresan en el ámbito ecológico (i.e., indicios de eutroficación, alteración en la distribución de la fauna béntica), químico (i.e., baja concentración de oxígeno, alteración de ciclos: nitrógeno y azufre, altas concentraciones de fenoles), estético (i.e., hedor de las aguas, basuras, aceites, material flotante).

Se proponen algunas acciones de mitigación de la contaminación y un plan para el establecimiento de estándares para la bahía de San Vicente, como una forma de mitigación del daño actual, armonizar los usos potenciales de esa área y minimizar los conflictos.

Palabras claves: Bahías industrializadas, hidrografía, contaminación, corrientes, calidad de agua, Chile.

ABSTRACT

San Vicente Bay receives substantial discharges of domestics and industrial effluent. The heterogeneity of uses and charge of cenobiotics produces alteration of the natural environment. The polluted load became mainly from a steel industry, a petrochemical complex, fish meal industries, domestic sewage, oil refinery and several small industries and activities and discharged without any treatment directly to San Vicente Bay. Actually, the bay show serious environmental damage, expressed by ecological alterations (eutrophicated areas, changes on the benthic fauna distribution), chemical changes (oxygen depletions, changes on the geochemical cycles of nitrogen and sulphur, high concentration of phenolics compound), drastic esthetic changes (strong odors of waters), high turbidity, floating materials and a surface oils film. Following the EIA methodology and some modification for the assesment of several actions over a geographical area, we must be identify the major environmental impact. Finally, a sectorial analysis was proposed, using hydrography pattern, in order to established different standards (use and emission standards) for impact mitigation.

Key words: Industrialised embayments, hydrography, polution, current, water quality, Chile.

INTRODUCCION

La bahía de San Vicente forma parte de un conjunto de bahías templadas en la zona cen-

tro-sur de la costa de Chile, entre las latitudes 36° S y $37^{\circ}20'S$ (Figura 1). Esta bahía se orienta al noroeste y posee una superficie de $13,2 \text{ km}^2$ y un volumen total de $260,5 \times 10^6$

*Departamento de Oceanografía, Pontificia Universidad Católica de Chile, Casilla 127, Talcahuano, Chile.

**Departamento de Oceanología, Universidad de Concepción, Casilla 2407, Concepción, Chile.

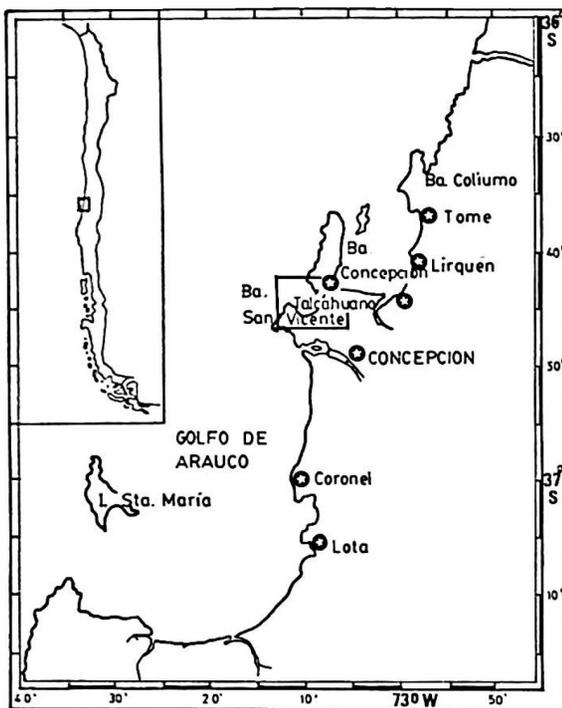


Figura 1. Ubicación geográfica de la bahía de San Vicente en el sistema de bahías de las costas de Chile Central (VIII Región).

m^3 de agua de mar. El 12% del volumen corresponde a aguas que se encuentran sobre la cota de 10 m, el 50% sobre la cota de 20 m y el 74% sobre la cota de 30 m de profundidad. Es, por tanto, una bahía somera con una profundidad promedio de 20 m y un tiempo de residencia de las aguas menor de un día. El régimen hidrográfico de la zona costera adyacente a la bahía, tiene un fuerte componente estacional, tanto en las condiciones meteorológicas (vientos y lluvias) como por las masas de agua comprometidas en la circulación costera (Alarcón, 1970; Ahumada y Chuecas, 1979). En general, el área comprendida entre los 36°S-37°S se encuentra comprometida con procesos de surgencias costeras estacionales, donde el período potencial de ocurrencia de los eventos de surgencia corresponde a los meses de septiembre a marzo (Ahumada *et al.*, 1983; Arcos, 1986). La bahía de San Vicente, por sus características de orientación, topografía costera, tamaño y profundidad, es un área marginal en el efecto producido por estos eventos.

En el entorno de la bahía está ubicado un complejo industrial, cuyas principales actividades corresponden al acero, petroquímica e industrias procesadoras de pescado, y en su conjunto generan una importante actividad

marítima (puertos de cabotaje, exportación/importación de productos y de desembarque de pesca). La mayor parte de los desechos de estas actividades se vierten al mar sin tratamiento previo. Esto ha producido serios deterioros en el ambiente, desde derrames accidentales de petróleo crudo (Cabo Tamar, 1978) a contaminación crónica, producida por la actividad portuaria.

Estudios realizados en el área han informado de concentraciones anormales de mercurio en el agua y en los sedimentos de la bahía (Hoffmann, 1979; Salamanca *et al.*, 1988), presencia de fenoles, altas concentraciones de sólidos filtrables y bajas concentraciones de oxígeno disuelto en el agua (Ahumada, 1988). Por último, han ocurrido en el área eventos de mortandad masiva de peces, siendo los componentes causales de origen antrópico (Chuecas *et al.*, 1988) y, por tanto, diferentes de los descritos para la bahía de Concepción (Ahumada y Arcos, 1976).

El presente trabajo describe las condiciones hidrográficas utilizando patrones de distribución de variables y analiza el impacto ambiental producido por la contaminación por materia orgánica proveniente principalmente de la actividad pesquera. El objetivo es identificar las fuentes, tipos de contaminantes, y evaluar el grado de contaminación de esta bahía. A modo de conclusiones, se proponen algunas medidas de manejo costero orientadas a mitigar el problema de la contaminación.

MATERIALES Y METODOS

Durante el año 1988 se realizaron seis cruces a la bahía de San Vicente, los que cubrieron una red de 29 estaciones hidrográficas y 12 estaciones bentónicas (Figura 2). Se obtuvieron muestras de agua en botellas tipo Niskin de 4 l de capacidad para el análisis de salinidad, pH, oxígeno disuelto, nutrientes ($NO_3^- - N$, $NO_2^- - N$, $NH_4^+ - N$, $PO_4^{3-} - P$), carbono orgánico particulado (COP), demanda bioquímica de oxígeno ($DBO_{(5)}$) y demanda química de oxígeno (DQO).

En 12 estaciones seleccionadas se obtuvo muestras de sedimento con una draga Van Veen de 0,25 m^2 de capacidad, obteniéndose submuestras para: a) determinación de la macrofauna de la comunidad béntica de los fondos blandos sublitorales; b) clasificación del sedimento; y c) análisis químico del contenido de carbono orgánico.

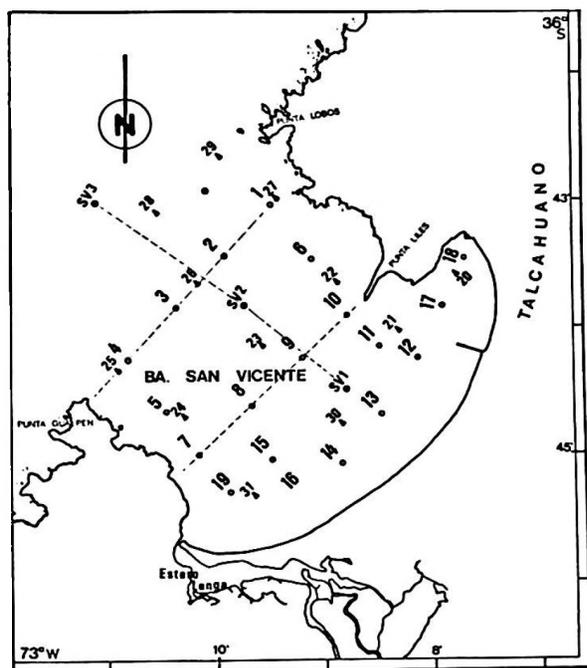


Figura 2. Bahía de San Vicente mostrando la posición de las estaciones usadas para el muestreo hidrográfico (●) y bentónico (▲).

En las muestras biológicas, el tamizado y lavado se realizó a bordo, utilizándose un tamiz geológico de 0,5 mm de abertura de mallas. El material biológico retenido fue fijado en una solución de formalina al 10% en agua de mar. En el laboratorio, se agregó Rosa de Bengala, para facilitar la separación de las formas pequeñas. Con posterioridad, se procedió a la separación, identificación y recuento de los ejemplares, actividades que se llevaron a cabo con estereomicroscopios y microscopio fotónico. Los datos obtenidos se analizaron por medio de una matriz o planilla de doble entrada, con las abundancias de las diversas formas faunales o especies para cada muestra y por estación.

Paralelamente, se realizó mediciones continuas de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH con un sensor digital Hydrolab 4041. Además, se realizó mediciones de rapidez y dirección instantánea de corrientes, cada cinco metros de profundidad, usando correntómetros de péndulo.

La metodología utilizada en el análisis químico de las muestras fueron las de rutina en los estudios oceanográficos (Strickland & Parsons, 1972; Grasshoff, 1982 y Young, 1984). Una vez obtenida toda la información general, se procedió a tabular y evaluar la información según la metodología seguida

para la Evaluación de Impacto Ambiental (Ahmad & Sammy, 1985), siguiendo los criterios generales de UNEP (1981), Escobar (1983) y Szekely (1986). Sin embargo, el análisis se hizo en relación a un área, que recibe numerosos impactos y sobre la base de resultados reales, por tanto se propone en este caso el concepto de Evaluación Global de Impactos por Área (EIGA), que tiene objetivos distintos: se trata de evaluar los impactos producidos con propósitos de establecer un programa de mitigación.

RESULTADOS

Usos actuales y potenciales de recursos costeros en la bahía de San Vicente

El uso actual de la bahía de San Vicente, es el resultado de un crecimiento industrial generado por la instalación de la planta siderúrgica de Huachipato, en 1945. La selección del lugar de instalación obedeció a las facilidades para la construcción portuaria, abundancia de agua, cercanía de yacimientos de carbón y equidistancia de las fuentes de otras materias primas. La dinámica generada por la siderúrgica transformó el sector de San Vicente de un lugar de recreación en un complejo industrial.

La abundancia de peces pelágicos en áreas costeras, sostenidos por un extenso proceso de surgencia y las características de este sistema de bahías, hizo posible el desarrollo de una importante zona para la pesquería industrial y artesanal. La VIII Región registró un desembarque de 1.889.661 t de pescado en 1988, de los cuales el 51% fue desembarcado por San Vicente para la industria de harina (ca. 95% del total; Sernap, 1989).

Por último, las características templadas del bosque valdiviano generan la explotación maderera en las regiones Séptima, Octava y Novena, incrementando significativamente el tráfico portuario de este puerto. El embarque total de San Vicente fue 2.390.427 t para 1988. Siendo los productos silvoagropecuarios los dominantes, con un 84,11%.

Desde este punto de vista, las aguas de la bahía de San Vicente comienzan a perfilar una serie de conflictos que se van agudizando en el tiempo y que deben ser compatibilizados y manejados con criterios de protección ambiental.

El uso actual de la zona costera y recursos de la bahía de San Vicente se presentan resumidos en la Tabla 1. La mayoría de estas

Tabla 1
Actividades industriales, uso de recursos costeros y posibles contaminantes
introducidos en las aguas de la bahía de San Vicente

Actividades	Posibles contaminantes
a) Cuerpo receptor de aguas servidas	Mat. orgánica, detergentes, bacterias
b) Puerto de cabotaje	Desechos y basuras
c) Terminal de petróleo	Hidrocarburos, solventes orgánicos
d) Puerto pesquero	
i) Uso de embarcaciones industriales	Petróleo, desechos y basuras
ii) Uso de embarcaciones artesanales	Petróleo, desechos y basuras
e) RIL orgánico descarga	Vísceras, agua de sangre, escamas
f) RIL del complejo industrial	
i) Residuos líquidos de coquería	Polvillo coke, fenoles, cianuros
ii) Actividad siderúrgica	Aceites, ácidos, alcalis, caliza
iii) Procesos industriales pesqueros	Mat. orgánica, grasas, restos sólidos
iv) Residuos líquidos de petroquímica	Hg. cloro activo, ácidos, bases
g) Astilleros	
i) Carenas y pinturas	Cu (granalla), solventes, pinturas
ii) Reparaciones	Aceites, solventes orgánicos
h) Area de cultivo y praderas de algas	
i) Areas protegidas	
j) Area de esparcimiento y recreación	

actividades producen alteraciones o modificaciones del ambiente, pudiendo producir daños considerables en esta área. La localización de las áreas en que se desarrollan estas actividades se muestran en la Figura 3. La evacuación de desechos domésticos e industriales en la bahía de San Vicente es uno de los problemas principales, sobre todo por la heterogeneidad de los contaminantes introducidos y su posible sinergismo.

Las aguas servidas de la ciudad de Talcahuano (256.043 habitantes, con una cobertura del 46% de red de alcantarillado) son llevadas a punta Liles, en la bahía de San Vicente, con un pretratamiento (cámara de rejillas y trituración) y descargadas directamente al mar a través de un emisario de 1.4 m de diámetro (Boré *et al.*, 1986). El alcantarillado recibe algunas cargas de RIL, detectándose altas concentraciones de fenoles en el punto de descarga (Ahumada, 1988). Esto significa que se vierte a la bahía un volumen aproximado de $8,6 \times 10^6$ t año⁻¹ de aguas servidas, con una carga estimada de DBO₅ de 6,36 t día⁻¹ (según cálculos basados en PNUMA/CPPS/ECO-CEPIS (OPS), 1986).

Por otra parte, entre las industrias más importantes que descargan desechos a la bahía están:

i) Una siderúrgica que vierte 135.000 m³ día⁻¹ de residuos industriales, entre los que se encuentran ácidos, amoníaco, sales ferrosas en solución, cianuros, aceites, lubricantes, fenoles, polvo de coke y carbonato de calcio

(Universidad de Concepción, 1980; Ahumada, 1988).

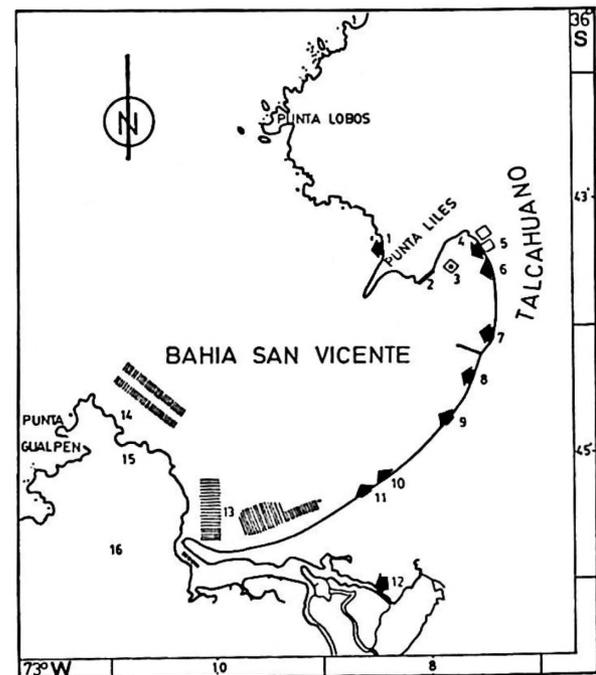


Figura 3. Usos actuales de la zona costera en la bahía de San Vicente.

1) Descarga de alcantarillado, 2) Actividad Portuaria, 3) Dique flotante (astilleros), 4) Descarga industrial de pescado, 5) RIL (plantas pesqueras), 6) RIL desembarque pescado, 7) RIL (planta de coque), 8) RIL (materias primas), 9) RIL (desechos domésticos), 10) Desechos domésticos, 11) RIL (industrias químicas), 12) aguas lluvia y desechos domésticos, 13) Cultivo de Algas, 14) Recursos costeros, 15) Area de recreación, 16) Parque natural protegido.

ii) Planta de cloro-soda, que vertió en 1980 a través de sus efuentes un promedio de 71 kg mes⁻¹ de mercurio hacia la bahía de San Vicente (Boré *et al.*, 1986). Actualmente estos niveles serían de 20 kg mes⁻¹.

iii) Planta de polietileno, que vierte 26.000 m³ día⁻¹ de residuos industriales líquidos que contienen principalmente ácidos clorhídrico, aceites lubricantes e hidrocarburos clorados.

iv) Empresas pesqueras, tres de ellas vierten aguas residuales del procesamiento de pescado para la fabricación de harina, seis descargan sus embarcaciones industriales en el área y cuatro industrias de congelados y/o conservas descargan sus desechos a la red de alcantarillado. Las descargas de sus afluentes es de ca. 28.000 m³ día⁻¹. Sus residuos son principalmente materia orgánica y grasas.

v) Refinería de petróleo.

vi) Terminales petroleros.

vii) Otras: industria de cemento, alambre y productos químicos.

Como se puede observar, existe eliminación de desechos industriales altamente peligrosos para la vida de los organismos y la salud humana en esta bahía. Por otra parte, la actividad generada por el complejo industrial en relación a la actividad portuaria, pesquera y de servicios, comienza a mostrar una clara incompatibilidad con otros usos de los recursos costeros (ej.: áreas de cultivo, caletas de pescadores, zonas de recreación, áreas de esparcimiento, etc.). Aunque no existe superposición de áreas con uso de recursos de intereses contrapuestos (i.e., cultivos y evacuación de aguas servidas municipales), los efectos de la contaminación e incompatibilidades ya comienzan a mostrar sus efectos, los que serán cada vez más evidentes.

Condiciones oceanográficas

La bahía de San Vicente está orientada al noroeste, condición que al parecer produce diferencias notables en cuanto a la intrusión de aguas pobres en oxígeno disuelto durante el período de primavera-verano.

El análisis resumido de seis cruceros durante 1988, en la bahía de San Vicente, indicó que la salinidad fluctúa entre 33,50 y 34,65 × 10⁻³, con una tendencia a aumentar durante el período estival. Sin embargo, para ninguno de los períodos estacionales se observan gradientes marcados en el eje vertical, y los cambios estacionales estarían referidos a la intrusión de aguas de afloramiento duran-

te el período de dominancia de los vientos del cuadrante sur.

La temperatura no presenta cambios significativos. El mayor gradiente se presenta durante el verano, donde en superficie los valores pueden alcanzar 13,5°C y en la máxima profundidad (boca de la bahía, 45 m), alcanza 11,1°C. En invierno, la temperatura fue homogénea en la columna de agua, alcanzando un valor promedio de 12,3°C. Esto determina que la débil estratificación de la bahía de San Vicente estuvo regida por la temperatura en el verano, y por la salinidad durante el invierno.

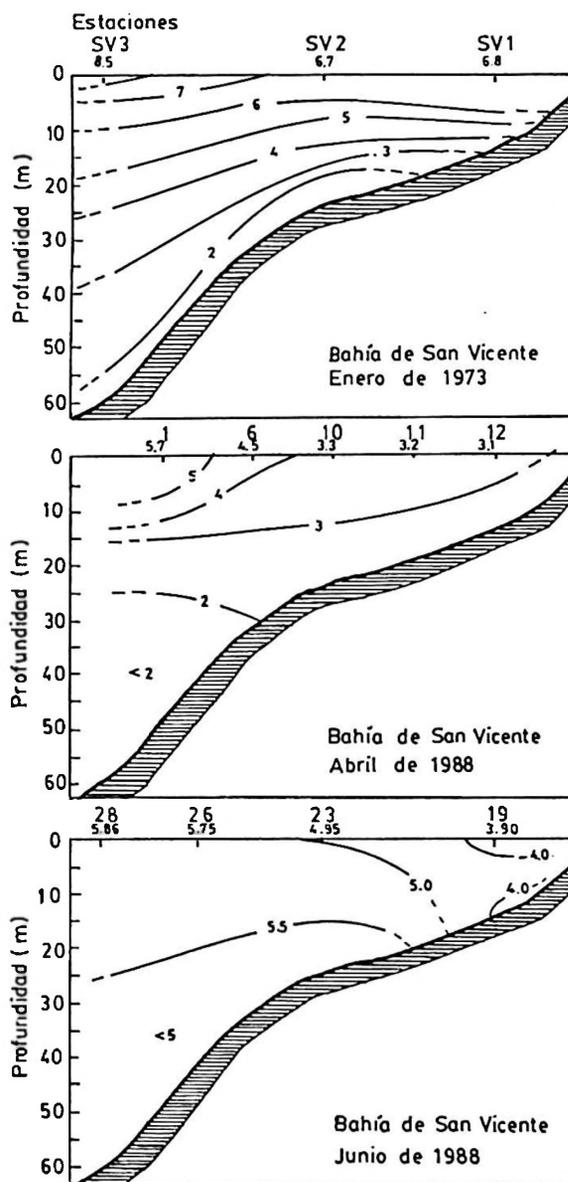


Figura 4. Distribución característica de oxígeno disuelto [ml O₂ l⁻¹] en la sección central de la bahía.

Con propósitos comparativos, en la Figura 4 se muestra un corte meridional de la bahía con isolíneas de oxígeno disuelto obtenido en enero de 1973. En éste no se observa valores de oxígeno inferiores a $1 \text{ ml O}_2 \text{ l}^{-1}$ al interior de la bahía; no obstante, en la misma fecha se detecta la presencia de las aguas del mínimo de oxígeno a sólo 15 m de profundidad en la bahía de Concepción (Ahumada y Chuecas, 1979). La Figura 4a (enero, 1973) servirá de punto de comparación, en relación a algunos de sus cambios ocurridos en la columna de agua (i.e., carga de orgánicos y consumo aparente de oxígeno disuelto). Durante 1988, se puede apreciar una disminución significativa del oxígeno disuelto en superficie, sin cambios en temperatura y salinidad, lo que indicaría que los cambios del contenido de oxígeno son locales y corresponden a problemas de contaminación.

La información de oxígeno disuelto fue consistente con la obtenida en 1973, en el sentido que, durante la condición estival, no se observa una intrusión de aguas pobres en oxígeno a la bahía, como patrón de comportamiento estacional (Figuras 4b y 4c). Sin embargo, las isolíneas de oxígeno para distintas superficies de profundidad muestran la existencia de áreas con mayores demandas (Figura 5). La distribución superficial muestra un gradiente negativo con origen en el sector del puerto. Es interesante hacer notar la coincidencia espacial del requerimiento de oxígeno con la distribución del material orgánico particulado y transparencia del agua (Figura 6). Esto confirma algunas características de circulación para esa área y la tenden-

cia general puede ser ratificada por las isolíneas (i.e., profundidad del disco Secchi). Las aguas de menor contenido de oxígeno se encuentran al interior de la bahía, y son el producto del requerimiento bioquímico para la oxidación de la materia orgánica introducida por la actividad industrial, más que la intrusión a la bahía de Aguas Ecuatoriales Subsuperficiales (AESS).

La distribución superficial de la temperatura, ocasionalmente, permite también tener una apreciación convergente con la dinámica de las aguas superficiales. En cambio, la homogeneidad de la salinidad durante este periodo impide establecer tendencias de circulación.

Los nutrientes inorgánicos presentan patrones diferentes: los nitratos y nitritos ($[\text{N}-\text{NO}_3^-]$ y $[\text{N}-\text{NO}_2^-]$) muestran una distribución homogénea en invierno y verano, con concentraciones promedio de $5,4 \mu \text{ mol l}^{-1}$ para verano y $2,3 \mu \text{ mol l}^{-1}$ para invierno; el amonio $[\text{N}-\text{NH}_4^+]$, en cambio, presenta una pluma de distribución de alta concentración en las áreas adyacentes al efluente de aguas servidas (Punta Liles) (Figura 7). Los fosfatos presentan concentraciones altas en verano, llegando a ser mayores que las observadas en las AESS fuera de la bahía. Todo lo anterior reforzaría la idea de una fuente de nutrientes de origen oxidativo de materia orgánica alóctona de diferentes orígenes en la bahía, con condiciones de reducción para los nitratos, producto de la demanda de oxígeno producida por contaminación orgánica. Las proporciones entre N/P escapan a las proporciones de Redfield (Red-

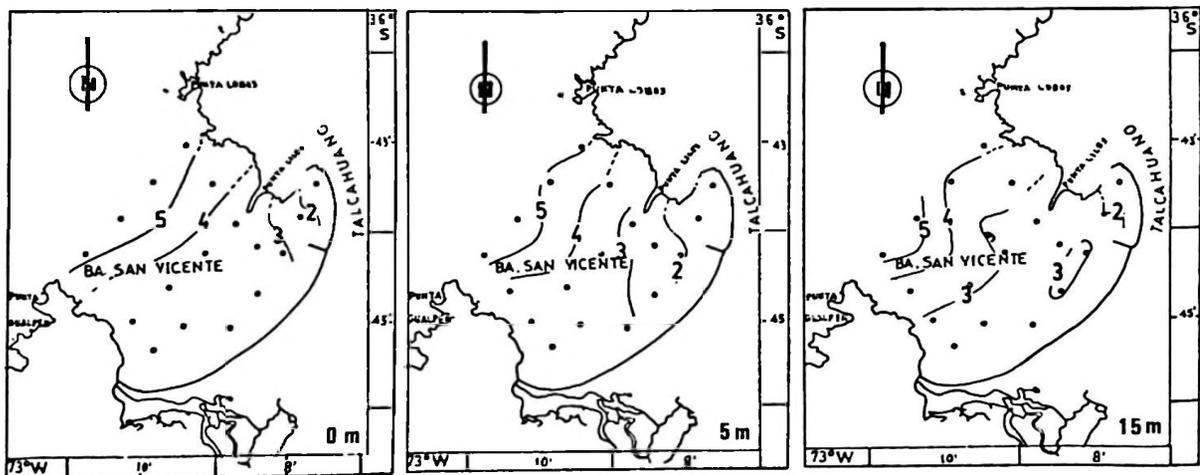


Figura 5. Isolíneas de oxígeno disuelto para distintos niveles de profundidad (i.e., superficie, 5 m y 15 m), durante el periodo de otoño de 1988.

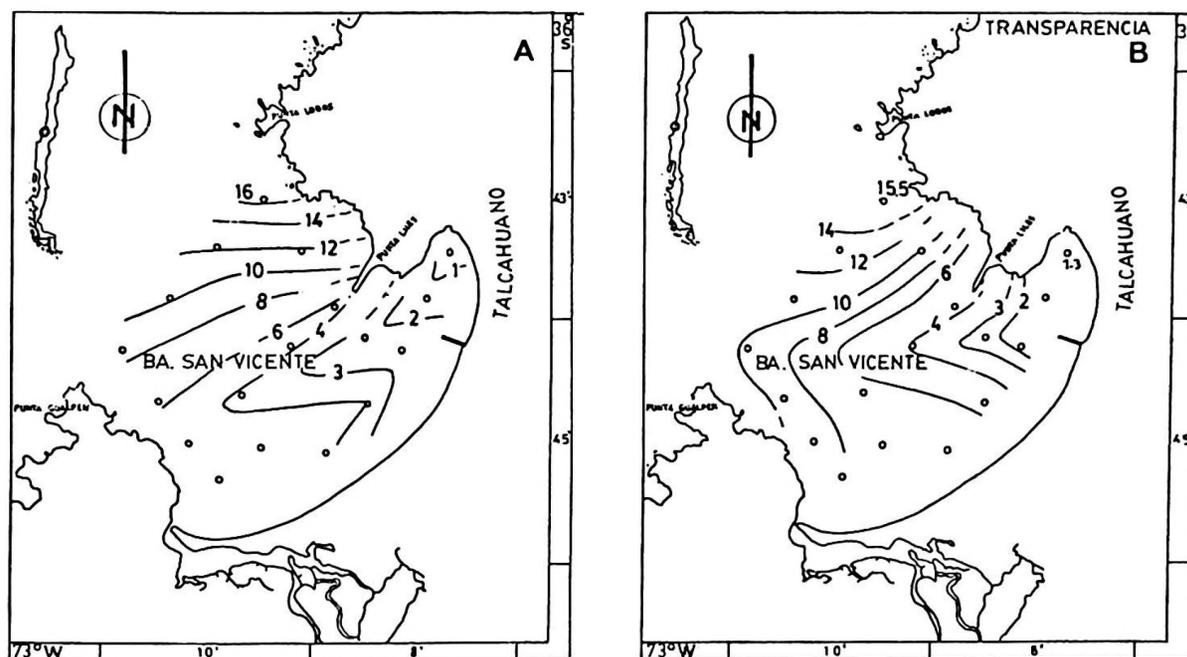


Figura 6. Transparencia del agua, obtenida como profundidad de disco Secchi (m), para dos períodos estacionales antipodas (A = otoño y B = primavera).

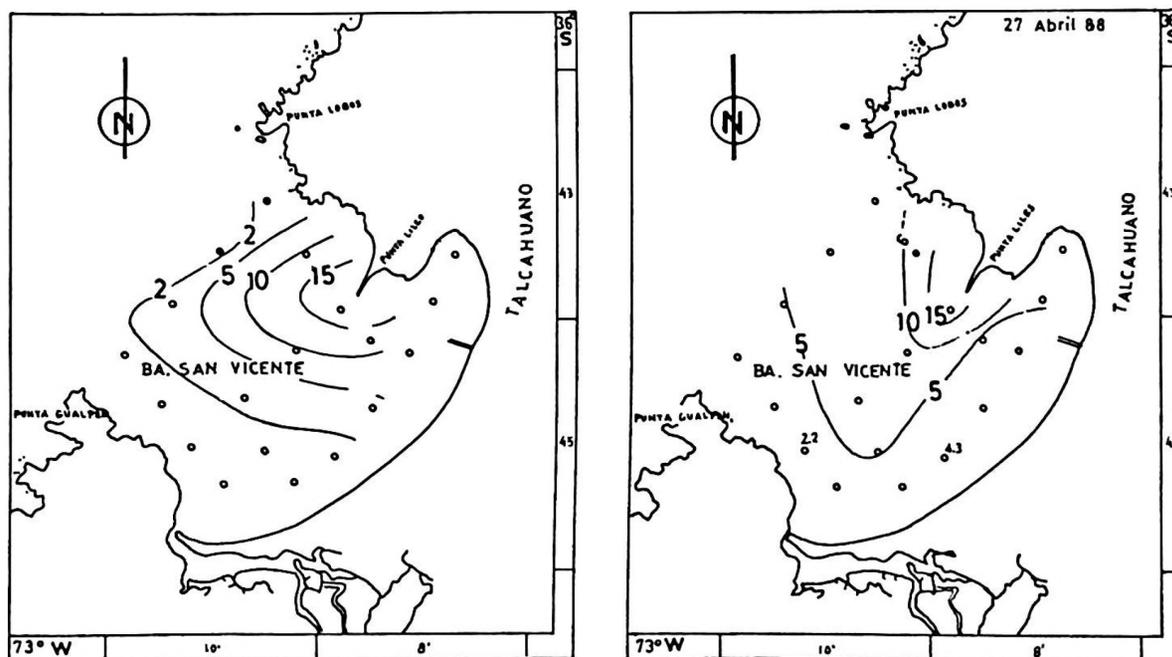


Figura 7. Distribución de amonio disuelto en superficie [$\mu\text{m l}^{-1}$], de la bahía, para dos períodos estacionales: verano y otoño de 1988.

field *et al.*, 1963), lo que indicaría un fuerte componente de contaminación por desechos orgánicos. Las relaciones N/P para noviembre de 1988 fueron de casi de 2,5:1, y según la información de invierno la relación es de 1,6:1. Lo que indica que el área está sometida

a intensos procesos de reducción de los compuestos del nitrógeno, debido a fuertes tensiones ambientales. Los valores naturales para la región de esta relación son mayores de 9:1 (Ahumada *et al.*, 1984).

Corrientes de la bahía de San Vicente

Las corrientes en la bahía de San Vicente presentan una alta variabilidad y sus estimaciones instantáneas se hicieron con correntómetros de péndulo para los meses de abril (5 y 26 de abril) y junio de 1988. Las corrientes para abril fueron graficadas para su componente norte oeste - sur este ($U + \rightarrow 135^\circ$), en un corte de la boca de la bahía, con el propósito de visualizar los campos de movimiento para el periodo estival (Figura 8). La velocidad de las corrientes alcanza un máximo para la entrada de aguas a la bahía con valores de 15 cm s^{-1} y de 5 cm s^{-1} para las aguas de salida. El mes de julio se considera como representativo de las características de invierno y se graficó el mismo corte con propósitos comparativos. Los correntómetros de péndulos, por su técnica de medición, impiden medir las corrientes menores a 5 m de profundidad, de tal manera que no aparece representada la capa superficial.

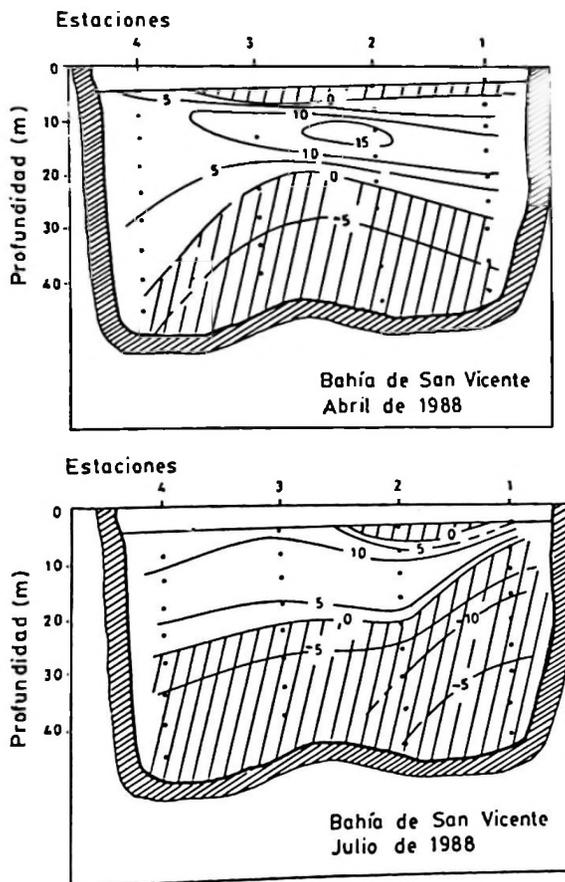


Figura 8. Descomposición vectorial de corrientes instantáneas en la boca de la bahía de San Vicente. Se consideró el eje 335° positivo (entrada)/ 125° negativo (salida).

Características y distribución de los sedimentos

El análisis granulométrico de los sedimentos de la bahía de San Vicente indica que en el sector central de la bahía predominan sedimentos de 500μ de diámetro, correspondientes a arenas gruesas. El diámetro de los sedimentos es menor hacia la periferia, siendo dominante los granos de $0,62 \mu$ de diámetro (Figura 9). En general, los sedimentos están bien seleccionados y presentan una distribución normal, con excepción de la Est. 20 (ubicada en el sector del puerto pesquero), que presenta una mezcla de limo-arcilla. Sin embargo, en áreas adyacentes al puerto pesquero se puede apreciar mezclas de arenas finas y medias, lo que hace suponer que la sedimentación fina es un problema reciente (i.e., 10 años), esto podría deberse a cambios de flujo y/o cargas orgánicas, producto de contaminación. Estas apreciaciones son consistentes con la concentración de orgánicos en los sedimentos (Tabla 2). La Est. 20 presenta las concentraciones más altas de materia orgánica de la bahía, aunque inferior al contenido de materia orgánica de la parte central de la bahía de Concepción (i.e., 9,77% y 16,0%, respectivamente). En este sector, los sedimentos presentan bolas de grasa saponificada, que da un aspecto hete-

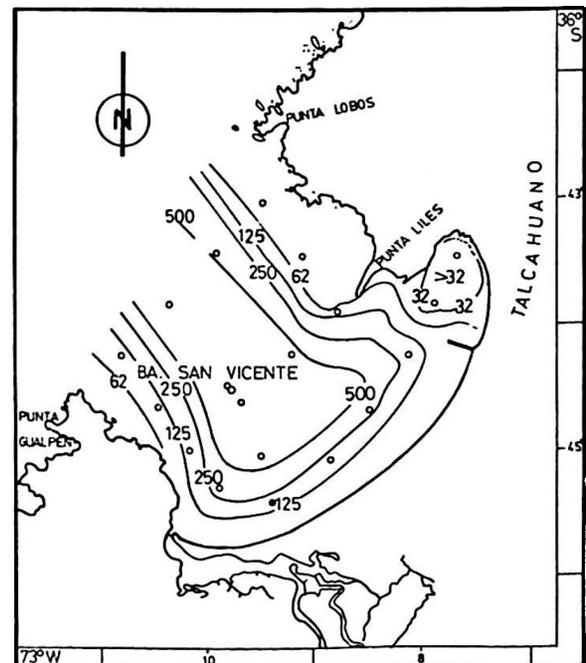


Figura 9. Distribución del sedimento de fondo de acuerdo a su tamaño.

Tabla 2
Característica de los sedimentos y análisis de la macroinfauna bentónica

Est. N°	Mat. Org.	C. Org.	Tipo sedimento	N° de sp.	Abundancia	Biomasa
20	10,4	2,9	Arena muy fina-fango	2	73	0,01
21	4,3	1,1	Arena media	13	396	4,90
22	2,1	0,4	Arena muy fina	25	7.492	14,10
23	1,1	0,2	Arena gruesa	14	1.283	13,30
24	0,6	0,02	Arena gruesa	27	1.867	17,00
25	3,0	0,7	Arena muy fina	27	2.315	14,01
26	1,0	0,26	Arena gruesa	18	174	3,3
27	1,9	1,0	Arena muy fina	24	1.782	8,3
28	1,4	0,74	Arena gruesa	27	2.142	13,3
29	3,8	0,82	Arena muy fina	32	9.060	24,0
					26.583	112,2 g

rogéneo a la muestra (estas sustancias no fueron cuantificadas como materia orgánica de los sedimentos). Es conveniente hacer notar que las concentraciones de materia orgánica en los sedimentos de la bahía de Concepción son propias de su alta productividad (Rudolph *et al.*, 1984), en cambio en este sector de la bahía de San Vicente la materia orgánica corresponde a material de origen antrópico. Las estaciones que poseen valores cercanos a 3% de materia orgánica están asociadas a sedimentos finos y relacionadas con una mayor producción estacional. El resto de las estaciones posee un contenido menor a 2,2%.

Estado general de las comunidades bentónicas de la bahía de San Vicente

El análisis cuantitativo de las muestras de fondo analizadas, produjo un total de 26.583 ejemplares de invertebrados. Estos individuos pertenecen a 7 taxas mayores y a 35 especies o formas diferentes de Polychaeta, Mollusca, Crustacea, Oligochaeta, Anthozoa, Nemertini y Urochordata. Predominan en las muestras ampliamente los anélidos poliquetos, en especial la especie *Paraprionospio pinnata*, en los fondos con limo-arcilla y *Spiophanes bombyx* en las arenas finas.

En la Tabla 2 se presenta por estación, el número de formas encontradas, la abundancia o densidad total de la macroinfauna (> 0,5 mm) bentónica sublitoral estudiada, y la biomasa estimada como peso húmedo-alcohol (en gramos).

Al analizar la tabla anterior, se observa claramente la pronunciada cantidad de individuos presentes en las Ests. 29, 22 y, en

menor grado, en la Est. 25. Algo parecido ocurre con la biomasa de la Est. 28.

Lo más notable es la marcada disminución de los individuos y de sus biomásas en las estaciones más cercanas al puerto de San Vicente, i.e., en las Ests. 20 y 21. En general, en los lugares en que se detectó elevadas densidades numéricas, se debió a la contribución de una sola forma de un gusano anélido del tipo Spionidae, dominancia típica en toda la región.

Las gráficas del tipo K-Dominancia, donde el orden (*rank*) de cada especie se plotea contra el porcentaje acumulativo de abundancia numérica y biomasa, se utiliza para comentar el estado ténsonal de las comunidades del bentos. Las diez gráficas se redujeron a cuatro formas típicas, lo que permitió reconocer zonas afectadas en la bahía. La Figura 10-a, y que corresponde al gráfico de la estación 22, es típico para las estaciones 21, 23 y 30, y estaría mostrando que las formas de las curvas de abundancia y de la biomasa de esta área estaría bajo influencia de una marcada eutroficación.

La Figura 10-b corresponde al gráfico de la estación 24, parecido al de las estaciones 25 y 31, conformando otra probable zona dentro de la bahía. En este caso, las curvas insinúan una contaminación moderada. La misma situación sería válida para la estación 26, cuyas curvas de K-Dominancia se presentan en la Figura 10-c. Por último, en la Figura 10-d se presenta la gráfica elaborada con los datos de la estación 27, y que es típico también para las estaciones 28 y 29, área completamente dispuesta hacia mar afuera y de menor influencia antrópica. La geometría de las curvas generadas en dicha figura, indicaría

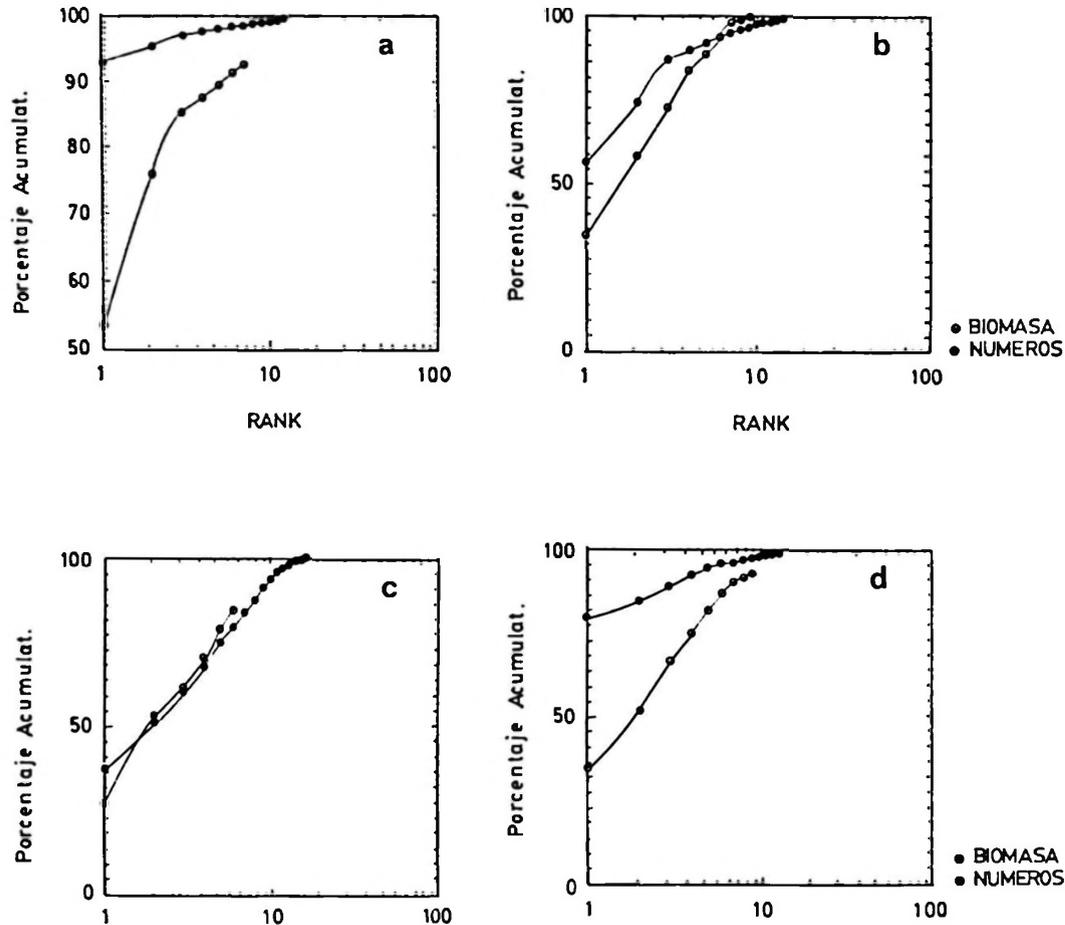


Figura 10. Gráficos de K-Dominancia característicos para las distintas estaciones bentónicas de la bahía de San Vicente. a) Corresponde a Est. 22. b) Corresponde a Est. 24. c) Corresponde a Est. 26. d) Corresponde a Est. 27.

también una situación de estrés, aunque se estima que esta situación sería el producto de las fuertes dominancias ecológicas naturales de 1 ó 2 especies (Carrasco & Gallardo, en este número). La estación 20 no fue considerada, debido a su alto grado de alteración.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Evaluación de Impacto Global por Area (EIGA)

En el caso de áreas de uso múltiple, donde numerosas actividades se concentran en un área y se requiere de una evaluación del impacto para esa área, se presentan contradicciones conceptuales para la aplicación de la técnica de la EIGA. En estos casos, y no estando definida la situación, es que se propone el concepto de Evaluación de Impacto Global por Area (EIGA). El objetivo es eva-

luar los impactos de numerosas actividades producidos en una misma área, con propósitos de establecer un programa de mitigación.

La bahía de San Vicente es un área de uso múltiple y presenta incompatibilidades y conflictos que alteran su desarrollo. La zona más afectada corresponde al sector noreste, donde la evacuación de RIL proveniente de los procesos industriales pesqueros, alcantarillado y aguas de descarga de buques pesqueros, producen el mayor impacto. Este sector, que corresponde a un 25% de la superficie de la bahía, se encuentra ecológicamente alterado. La columna de agua alcanza un 10% de saturación de oxígeno, $DBO_{(5)}$ es de $0,8 \text{ g O}_2 \text{ l}^{-1}$; DQO es de $1,4 \text{ g O}_2 \text{ l}^{-1}$, la transparencia del agua alcanza a sólo 1 m (disco Secchi) y los sedimentos son anóxicos con ausencia de macrofauna y acumulación de sustancias grasas saponificadas.

El sector central de la bahía presenta una extensa playa de arena, donde evacuan sus residuos las industrias de San Vicente. Los efluentes que presentan un mayor impacto, a una observación general de la bahía, es el de materias primas de CAP (que se visualiza ocasionalmente como una pluma de color blanquecino, por su contenido de caliza) y el efluente de coquería, con una pluma oscura. Este último evacua compuestos fenólicos (residuos de la planta de coque) que pueden producir cambios severos en la tasa de degradación de la materia orgánica, por inhibición de la actividad bacteriana. Por otro lado, se ha atribuido a este compuesto una reciente mortandad de peces ocurrida en marzo de 1988 (Chuecas *et al.*, 1988). Este tipo de compuesto debería ser controlado a través de estándares de emisión pequeños, por su alta toxicidad (AFS, 1979).

Evaluación Global de Impactos por Área de las fuentes de contaminación para San Vicente (Tabla 3), nos muestra que los mayores impactos en la bahía fueron producidos por RIL industrial (sin considerar las empresas pesqueras) en 37,67%, le sigue la actividad pesquera con un impacto estimado en 33,94%. Las aguas servidas de origen diverso tienen un porcentaje importante por la extensión que cubren y se estima en 26,68%. Impactos menores son producidos por la actividad portuaria con 2,18%, dique flotante con 1,43% y terminal petrolero con 0,6%. Estas tres últimas fuentes, a pesar de su bajo impacto, deben ser consideradas como de alto riesgo, debido a la alta potencialidad de derrames o accidentes.

Las alteraciones que presenta la bahía de San Vicente son severas y pueden establecerse bajo las siguientes evidencias:

i) Cambios ecológicos significativos en el estero de Lengua en relación a la descripción hecha por Fischer (1963). Esta marisma fue descrita como un área de desove y crianza de numerosas especies litorales. Por algún tiempo, fue usada como área de evacuación de RIL de la industria petroquímica, produciéndose una fuerte contaminación por Hg (Hoffmann, 1979).

ii) Alteraciones ecológicas y estéticas profundas difíciles de revertir en el área sureste de la bahía (sector de actividades portuarias y pesqueras). Esta área corresponde a un 20% de la superficie de la bahía, donde la actividad pesquera aporta gran cantidad de desechos orgánicos con un alto $DBO_{(5)}$ y la consecuente eutroficación y muerte del bentos. Un

caso extremo del impacto producido por la industria pesquera de reducción ha ocurrido en Talcahuano (Rudolph y Ahumada, 1987).

iii) Alteraciones ecológicas graves en el sector central de la bahía, por efecto del RIL industrial, con polución por compuestos altamente tóxicos, como fenoles, mercurio (Hoffmann, 1979; Salamanca *et al.*, 1988), y otros metales pesados.

iv) Alteraciones ecológicas en toda la bahía, detectadas en este estudio y basadas en la subsaturación de oxígeno disuelto, material flotante y suspendida, que disminuye la penetración de la luz (grumos de grasa saponificada, partículas orgánicas, polvo de coque, aceites, cal y otros).

No debe ser ignorado que en las áreas costeras adyacentes a la bahía de San Vicente se captura una parte importante de la pesca industrial de la Octava Región y que en general el sistema de bahías ha sido descrito como un área de desove y crianza de algunas especies explotadas por la pesquería artesanal (Rojas y Mujica, 1981).

Proposición y políticas de manejo

Una primera proposición de ordenamiento y recuperación para la bahía de San Vicente

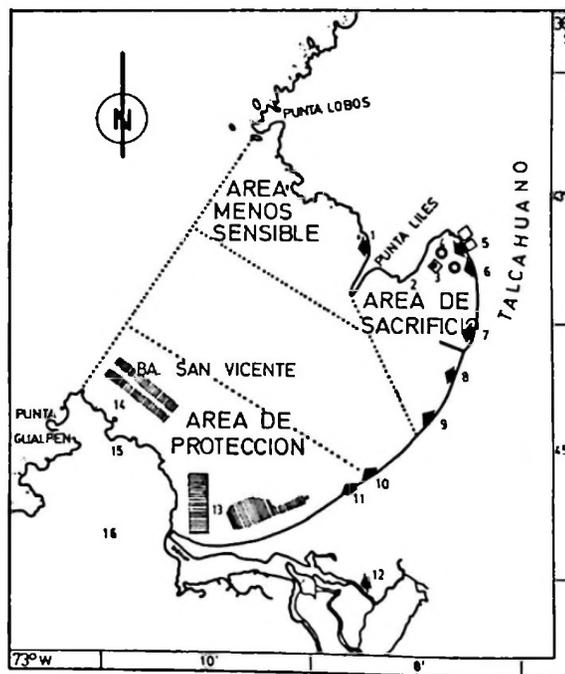


Figura 11. Subdivisión arbitraria de la superficie de la bahía de San Vicente para proponer un plan de mitigación de impacto y manejo de esta área costera. Los números corresponden a las actividades actuales y son los utilizados en la Figura 3.

Tabla 3
Evaluación de impacto ambiental de las distintas fuentes de contaminación de la bahía de San Vicente.
 Se consideró 28 parámetros y seis fuentes

Parámetros	Aguas servidas			Puerto cabotaje			Terminal de petróleo			Activ. puerto pesquero			Actividad industrial			Astilleros		
	M	I	F	M	I	F	M	I	F	M	I	F	M	I	F	M	I	F
AMBIENTALES																		
Transparencia	2	2	2	2	2	1	1	5	1	4	5	8	3	8	10	2	1	1
Sólidos flotantes	2	2	3	2	2	1	1	1	1	6	6	6	2	4	5	1	2	1
Aceites y grasas	1	1	2	3	8	1	1	4	1	4	8	3	3	3	2	1	2	1
Petróleo	1	1	1	3	8	2	3	10	1	2	8	2	2	8	6	1	2	1
Oxígeno disuelto	3	3	10	2	3	2	2	10	1	4	10	8	3	10	10	3	3	2
NH4+	3	8	8	2	2	3	1	2	1	4	4	6	2	2	8	1	1	1
H2S	2	1	2	2	1	1	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	1	1
DQO	3	3	2	2	2	2	1	2	1	3	4	3	3	9	10	2	2	1
DBO5	4	4	2	2	2	2	1	2	1	3	4	3	3	9	10	2	2	1
Metales pesados	1	1	1	3	3	1	1	2	1	3	1	1				3	3	3
Compuestos fenólicos*													1	3	2			
BIOLOGICOS																		
Vida silvestre	2	3	2	2	2	1	1	2	1	3	3	8	3	4	10	2	2	1
Vida intermareal	2	2	2	2	2	1	1	2	1	5	10	8	3	4	10	2	2	1
Fitoplancton	1	3	1	2	2	1	1	2	1	5	4	8	3	4	10	2	2	1
Zooplancton	1	1	1	2	2	1	1	2	1	4	10	8	3	4	10	2	2	1
Peces	3	3	3	2	2	2	1	2	1	4	10	8	3	4	10	2	2	1
Bentos	3	2	3	2	2	2	1	1	1	4	10	8	3	4	10	2	2	1

Parámetros	Aguas servidas			Puerto cabotaje			Terminal de petróleo			Activ. puerto pesquero			Actividad industrial			Astilleros		
	M	I	F	M	I	F	M	I	F	M	I	F	M	I	F	M	I	F
ESCENICOS																		
Paisaje	8	8	10	2	1	1	1	1	1	4	2	4	3	6	10	3	1	6
Aislamiento	8	10	6	3	1	1	1	1	1	6	2	6	4	6	10	2	2	2
Recreación y esparc.	3	10	10	3	2	1	2	5	1	3	2	6	4	6	10	2	1	2
Deportes náuticos	3	10	10	2	1	1	2	5	1	3	2	5	3	3	8	2	1	2
Turismo	3	10	6	2	1	2	1	1	1	3	3	3	3	3	8	2	1	1
ECONOMICO																		
Cultivos	2	6	3	3	2	2	2	5	1	2	2	3	2	3	6	2	3	1
Oportunidad de empleo	1	1	1	1	1	1							1	1	1			
Recursos explotables	4	2	3	1	1	1	2	5	1	1	1	1	3	2	6			
Resguardo embarcaciones	2	3	8	1	3	1	2	6	1	2	8	10	2	8	10			
Obras de ingeniería	1	3	1	1	1	1				1	1	1	2	8	6	1	1	1

*Escasa información pero altas concentraciones detectadas.

debe estar enmarcada considerando los usos y usufructos de los recursos (CES, 1972). Con este fin, y de acuerdo a las características de circulación dominante, se subdividió la bahía en tres zonas con tratamientos de recuperación y urgencias distintas, pero con el propósito de resolver el problema de la bahía como un todo (Figura 11). La subdivisión del área debe ser entendida como un elemento metodológico operacional para la mitigación del impacto y se basa en criterios de circulación, escala espacial y requerimiento de ca-

lidad para el uso de recursos. Para conocer el estado de contaminación actual, se procedió a realizar una evaluación del impacto por área, para cada uno de los sectores (Tabla 4).

Esto permite, desde un punto de vista metodológico, diseñar estrategias de mitigación parcial y a la vez sugerir estándares de calidad de agua distintos y de acuerdo al uso que se dé a cada sector, aunque siempre manteniendo los criterios básicos de protección. Para ello debe establecerse un programa de control de calidad de aguas orientado a esta-

Tabla 4
Evaluación de Impacto Global por Area (EIGA) para la bahía de San Vicente,
de acuerdo a la contaminación actual

Parámetros indicadores	Sector de sacrificio			Sector de Mínima sensibilidad			Sector de protección		
	M.*	I.*	F.*	M.*	I.*	F.*	M.*	I.*	F.*
<i>Ambientales</i>									
Transparencia	10	5	8	1	1	2	2	4	3
Sólidos flotantes	4	4	8	2	1	2	3	7	5
Aceites y grasas	6	7	8	1	1	1	2	6	3
Petróleo	4	6	8	1	1	1	8	6	1
Oxígeno disuelto	10	6	8	1	1	1	2	3	2
[NH ₄ ⁺ - N]	4	5	8	3	5	10	2	4	8
[H ₂ S - S]	2	2	6	1	1	1	1	1	1
DQO	10	6	8	1	1	1	2	3	2
DBO ₅	10	6	8	1	1	1	2	3	2
Metales trazas **	4	3	8	1	1	1	1	1	1
Alteración ciclos (N/P)	10	9	8	2	6	4	3	5	5
Compuestos fenólicos	3	8	10	1	2	1	8	8	2
<i>Biológicos</i>									
Vida silvestre	9	8	9	1	1	1	6	6	3
Intermareal	8	8	8	1	2	1	3	6	3
Fitoplancton	5	5	8	1	1	1	2	6	2
Zooplancton	6	5	8	1	1	1	2	3	2
Peces	8	8	10	1	1	1	2	3	2
Bentos diversidad	9	10	10	1	1	1	4	5	4
<i>Escénicos</i>									
Paisaje	8	6	8	1	1	1	3	5	2
Aislamiento	10	10	10	1	1	1	2	2	1
Recreación y esparc.	9	6	10	1	1	1	3	3	2
Deportes náuticos	9	9	10	1	1	1	3	3	2
Turismo	7	5	8	1	1	1	3	3	3
<i>Económicas</i>									
Cultivos	10	10	10	1	1	1	2	3	2
Oportunidad de empleo	1	1	1	1	1	1	3	6	2
Recursos explotables	10	10	10	1	1	1	2	6	2
Resguardo embarcaciones	1	1	1	1	1	1	1	4	1
Obras de ingeniería	3	5	6	1	1	1	1	1	1

*M = Magnitud. Se refiere al % del área afectada, expresado en un equivalente de 1-10.

*I = Importancia. Se refiere a la importancia del proceso que está afectado.

*F = Frecuencia. Se refiere a la frecuencia con que ocurre el impacto.

**No estudiados en este trabajo. Datos de Salamanca et al., 1988.

blecer estándares de diseño, estándares de uso y estándares de procedimiento como han sido descritos por Lamb (1985).

El éxito del programa de control de calidad de agua dependerá no sólo de los estándares, sino también de decisiones informadas, rápidas y claras en relación a los objetivos propuestos, para cada zona costera.

Las normas que permitan controlar los afluentes industriales y domésticos que son vertidos a las aguas de la bahía, deben establecer: a) sustancias que por su peligrosidad no pueden en ninguna circunstancia ser vertidas al océano; b) estándares de emisión para aquellas sustancias que son asimiladas por el océano en un período corto de tiempo; c) formas de vertimiento de desechos, como distintos tipos de efluentes, sitios posibles de ubicación y/o establecimiento de zonas de hundimiento, según las normas de la IMCO; d) establecer un principio de planificación territorial para el uso de recursos de la zona costera de acuerdo a las características específicas del lugar, con el objetivo de valorizar inversiones futuras.

Cualquier tipo de vertimiento al océano debe considerar estudios de la capacidad de asimilación del cuerpo de agua receptor y que es específica para cada sustancia contaminante. Los estudios y resultados de cada proyecto en particular, deberían ser expuestos al arbitraje de expertos designados por la autoridad y al conocimiento público por un período razonable, antes de su aprobación.

Estas proposiciones están basadas en el principio que, en la solución de los problemas producidos por la contaminación, deben considerarse los siguientes componentes: un estudio técnico, que proponga soluciones alternativas; un componente social, y uno jurídico. Finalmente, la industria o empresa que requiera verter sustancias al océano, considerará los procesos, tratamientos e inversiones adecuadas de acuerdo con las exigencias impuestas, sobre la base de estar usufructuando de un patrimonio nacional y un área de uso común. Esto haría imprescindible establecer políticas claras sobre posibles usos de la zona costera y los márgenes litorales adyacentes de acuerdo a las condiciones naturales de la zona costera (i.e., zonas de desove, praderas naturales de algas, lugares de recreación y áreas que expresamente sean solicitadas como de estudio), con el propósito de conservar el ambiente, proteger los recursos para el sector productivo y mejorar la calidad de vida de los habitantes.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Vilma Fernández y Rosa Poblete, quienes trabajaron en nuestro laboratorio durante la realización de este proyecto, al capitán José Martínez y al Sr. Ceferino Sepúlveda, de la embarcación "Don Nibaldo", por el apoyo prestado durante la fase de muestreo. Esta publicación es parte de los resultados del Proyecto VTB 029-I, producto del convenio entre la Pontificia Universidad Católica de Chile y la Ilustre Municipalidad de Talcahuano.

LITERATURA CITADA

- AHMAD, Y.J. & G.K. SAMMY. 1985. Guidelines to environmental impact assessment in developing countries. Sponsored by UNEP. Hodder and Stoughton, London. 52 pp.
- AHUMADA, R. & D. ARCOS. 1976. Descripción de un fenómeno de varada y mortandad de peces en la bahía de Concepción, Chile. *Rev. Com. Perm. Pacífico Sur*, 5:101-111.
- AHUMADA, R. y L. CHUECAS. 1979. Algunas características hidrográficas de la bahía de Concepción (36° 40'S; 73°02'W) y áreas adyacentes, Gayana, *Miscelánea*, 8:1-56.
- AHUMADA, R., A. RUDOLPH & V. MARTÍNEZ. 1983. Circulation and fertility of waters in Concepción Bay. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 16:95-105.
- AHUMADA, R., A. RUDOLPH y P. MATRAI. 1984. Oxígeno disuelto y su relación con los nutrientes en la bahía de Concepción, durante un período de surgencia. *Invest. Mar.*, 12:15-26.
- AHUMADA, R. 1988. Análisis de un set de 6 muestras correspondiente a efluentes y agua de la bahía de San Vicente, para establecer la fuente y origen posible de los contaminantes en el agua de mar. Informe Técnico, Capitanía de Puerto, San Vicente. Enero de 1988. Departamento de Oceanografía y Contaminación. Pontificia Universidad Católica de Chile-Sede Talcahuano.
- ALARCÓN, E. 1970. Descripción oceanográfica preliminar del golfo de Arauco. *Bol. Cient. Inst. Fom. Pesq.*, Santiago, Chile. 11:1-31.
- AMERICAN FISHERIES SOCIETY (AFS). 1979. A Review of EPA Red Book: Quality Criteria for Water. R.V. Thurston, R.C. Russo, C.M. Fetterolf, Jr., T.A. Edsall and Y.M. Barber Jr., (Eds.), Water Quality Section, A.F.S., Bethesda, MD. 313 pp.
- APHA-AWWA-WPCF. 1985. Standard methods for examination of water and wastewater. 16th Edition. American Public Health Association, Washington, D.C. 1268 pp.
- ARCOS, D. y N. NAVARRO. 1986. Análisis de un índice de surgencia para la zona de Talcahuano, Chile (Lat. 37°S). *Invest. Pesq.*, 33:91-98.
- BORÉ, D., F. PIZARRO y N. CABRERA. 1986. Diagnóstico de la contaminación marina en Chile. Corporación de Fomento de la Producción, Instituto de Fomento Pesquero. Chile. 2 Tomos, 198 pp. + Anexos.
- CEPAL. 1985. Informe del taller sobre la evaluación del impacto ambiental de sustancias potencialmente nocivas provenientes de fuentes costeras en el medio

- marino: Estudio de un caso en Chile. Universidad de Concepción. LC/L. 325:86 pp.
- CEPAL/PNUD. 1985. Concepts, Definitions and Premises Related to Environmental Impact Assessment. Documento de Referencia N° 9, 16 pp.
- CONSEJO ECONÓMICO Y SOCIAL (CES). 1972. Usos del Mar. Naciones Unidas, 58 pp.
- CHUECAS, L., J. STUARDO, S.P. NÚÑEZ, C.R. VALDOVINOS y V. BRIANO. 1988. Mortandad de organismos marinos. marzo 1988. Bahía de San Vicente, Chile. ¿Causas naturales o antrópicas? Resúmenes VIII Jornadas de Ciencias del Mar. Pontificia Universidad Católica de Chile, Sede Talcahuano.
- ESCOBAR, J. 1983. Objetivos, métodos y problemas en las evaluaciones de impacto ambiental (EIA). CEPAL, CPPS, 16 pp.
- FISCHER, W. 1963. Die Fische des Brackwassergebietes Lenga bei Concepcion (Chile). Int. Revue ges. Hydrobiol., 48(3): 419-511.
- GRASSHOFF, K. 1982. Methods of sea water analysis. 2nd. Edition. Verlag Chemie, 419 pp.
- HOFFMANN, W. 1979. Evaluación del grado de contaminación del estero Lenga y de la bahía de San Vicente. Págs. 238-251. Ed. V.A. Gallardo. Actas Seminario/Taller sobre Desarrollo e Investigación de los Recursos Marinos de la Octava Región, Chile. Universidad de Concepción. 567 pp.
- LAMB, J.C. 1985. Water Quality and its Control. John Wiley & Sons. New York. 384 pp.
- PNUMA/CPPS/ECO-CEPIS. 1986. Evaluación rápida de fuentes de contaminación de aire, agua y suelos. Comisión Permanente del Pacífico Sur, 1-122 pp.
- RAU, J.G. & D.C. WOOTEN. 1980. Environmental Impact Analysis Handbook. McGraw-Hill Book Company. New York.
- REDFIELD, A.C., B.H. KETCHUM & F.A. RICHARDS. 1963. The influences of organisms on the composition of sea-water. En: M.N. Hill (Ed.), The Sea. Ideas and observations on Progress in the Study of the Seas. Vol. 2: 26-77. Interscience Publishers. John Wiley & Sons. 554 pp.
- ROJAS, O. y A. MUJICA. 1981. Delimitación de las áreas de desove, prerreclutamiento y estimación de la abundancia relativa de huevos y larvas de peces pelágicos de importancia económica. Subsecretaría de Pesca-Instituto de Fomento Pesquero, Informe Técnico, 82 pp.
- RUDOLPH, A., R. AHUMADA y S. HERNÁNDEZ. 1984. Distribución de la materia orgánica, carbono orgánico y fósforo total en los sedimentos recientes de la bahía de Concepción, Chile. Biología Pesquera, 13: 71-82.
- RUDOLPH, A. y R. AHUMADA. 1987. Intercambio de nutrientes entre una marisma con una fuerte carga de contaminantes orgánicos y las aguas adyacentes. Bol. Soc. Biol. Concepción, Chile. 58: 151-169.
- SALAMANCA, M.A., L. CHUECAS & F. CARRASCO. 1988. Heavy metal content and distribution in surface sediments from three areas of the Chilean coast., Gayana (Miscelánea), 9(1-4): 1-16.
- SERVICIO NACIONAL DE PESCA. 1989. Anuario Estadístico de Pesca 1988. Servicio Nacional de Pesca. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, Chile.
- STRICKLAND, J. & T. PARSONS. 1972. A practical handbook of sea water analysis. Bull. Fish. Res. Canada, 167: 1-311.
- SZEKELY, F. 1986. Evaluación de impacto ambiental, nociones básicas. Doc. PNUMA/CPPS/CEPAL/WG. 56(8): 1-43.
- UNEP, 1981. Pautas para la evaluación de impacto ambiental industrial y criterios ambientales para la ubicación de industrias. Industry and Environmental Guidelines. 1: 807-1015.
- UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN. 1980. Evaluación del grado de contaminación del litoral de la Octava Región. Informe Final. Julio de 1980. Dirección de Asistencia Técnica.
- YOUNG, J.C. 1984. Waste strength and water pollution parameters. Pages 2-39. En: R.A. Minear & L.A. Keith (Eds.), Water Analysis. Vol. 3, Organic Species. Academic Press, Inc., Orlando, 456 pp.