Bol. Soc. Biol. Concepción, Chile. Tomo 58 pp. 151-169; 1987

# INTERCAMBIO DE NUTRIENTES ENTRE UNA MARISMA CON UNA FUERTE CARGA DE CONTAMINANTES ORGANICOS Y LAS AGUAS ADYACENTES(1)

## Fluxes and nutrient exchange between a salt marsh with strong load of organic pollutants and the adjacent waters(1)

ANNY RUDOLPH G. y RAMON AHUMADA B*

RESUMEN

Se describe los efectos de efluentes domésticos e industriales provenientes de industrias pesqueras, vaciados al cuerpo de agua de la marisma, además del impacto que ella produce en la Bahía de Concepción.

La Marisma Rocuant posee una superficie de un 0.6% del área total de la bahía y su impacto, en vaciante, alcanza un 25% de ella.

Los resultados muestran que la marisma se comporta, en relación a la bahía, como una fuente de P - $PO_4^{3-}$, $NH_4^+$, y MOP y un resumidero de $O_2$ disuelto, $NO_3^-$ y probablemente $SO_4^{2-}$.

Información del área publicada en 1977 por otros autores, permite realizar una evaluación del deterioro ecológico extremo ocurrido en un lapso de 10 años.

Se concluye que la falta de una política de manejo costero ha producido daños considerables en el ambiente físico, en la vida silvestre y en la calidad de vida de los habitantes de una vasta zona residencial.

ABSTRACT

The effects of untreated sewage and fishing industries effluents on a water body of a salt marsh and their eutrophication impact on coastal water of Concepcion Bay are described.

The salt marsh is about 0.6% of the total area of the bay ands is located in a populated and highly industrialized zone.

The results revealed that the distribution of nutrients in the adjacent coastal water is governed by the tidal regime and, consequently, the exchange of nitrogen, phosphorus and organic matter between the salt marsh and the coastal water was estimated.

Finally, the comparison of data published in 1977 with the information obtained in this study shows that the salt marsh has undergone an extreme ecological deterioration during a ten years period.

A defficiency of a policy on coastal zone management has produced a deep damage of the physical environment, natural life and the life quality for the neighbouring residential population.

KEYWORDS: Salt marsh. Organic Matter. Pollution. Nutrient fluxes. Remineralization. Budget.

---

(1) Contribución 04/87. Pontificia Universidad Católica de Chile Sede Talcahuano.

(*) Depto. de Química y *Depto. de Oceanografía, Pontificia Universidad Católica de Chile, Sede Talcahuano.

## INTRODUCCION

En las últimas décadas se ha dado especial importancia a la interacción entre los sistemas próximos a la costa o litorales y los sistemas marinos. Con énfasis en los aportes y subsidios recíprocos de materia y energía. UNESCO (1986) a través de un grupo de expertos, ha reconocido que el factor común de los trabajos realizados es la alta variabilidad en los resultados y ha propuesto estimular los estudios en esta área de investigación para la próxima década.

En general, los sistemas litorales (*i.e,* lagunas costeras, marismas, estuarios y otros) han sido considerados como exportadores de materia orgánica y nutrientes hacia cuerpos de agua adyacentes (Odum, 1980; Wolaver *et. al.,* 1984; Danquers *et al.,* 1984; Watson *et al.,* 1985; Yelverton and Hackney, 1986).

Las mayores dificultades para estimar los subsidios de materia y/o energía son la variabilidad y efecto producidos por: el flujo mareal, los volúmenes de agua involucrados (Dankers, *op. cit.*), la actividad antropogénica y el efecto estocástico de tormentas e inundaciones de agua dulce o salada (Colimvaux, 1980; April & Raney, 1980).

Las Marismas pueden ser definidas como un sistema litoral, tipo estuarino*, donde la comunicación con las aguas costeras es permanente a través del año. Su origen geomorfológico corresponde a valles de río inundados o estuarios formados por barreras, donde los procesos de sedimentación son de importancia y los sedimentos finos, con alto contenido de materia orgánica. Las marismas se componen de un cuerpo de agua cuyos fondos están permanentemente cubiertos; una zona de inundación afectada por las mareas y/o aguas de escurrimiento continental y una zona alta, donde las inundaciones son ocasionales. En la zona de inundación y la zona alta se establece una zonación típica de macrófitos, donde la formación característica corresponde a una comunidad de Spartina - Salicornia, produciéndose sucesiones en el tiempo con la evolución de la marisma.

Las marismas son consideradas como sistemas de transición por su doble influencia: marina y continental. Sin embargo, sus propiedades y características son únicas y deben estudiarse como "**propiedades emergentes**" (Odum, 1971; Odum, 1980). Estos sistemas tienen una alta producción primaria, sustentada principalmente por plantas macrófitas, donde la recuperación del alimento puede ser realizada por:

a) raíces vegetales de penetración profunda (*i.e., Spartina alterniflora* (Pritchard, 1967; Berner *et al.,* 1985)).

b) animales zapadores (Yelverston and Hackney, 1986) y

c) actividad bacteriana, que media una serie compleja de reacciones químicas poco conocidas en sistemas estuarinos (Mantoura and Woodward, 1983; Wofsy *et al.,* 1981).

La alta producción primaria proveniente de plantas macrófitas y la alteración de estos sistemas debida a la carga de orgánicos producida por el asentamiento de poblaciones humanas en sus cercanías, conduce a una rápida eutroficación de las aguas y convierte estos sistemas, altamente sensibles, en zonas sin vida y no aptas para el desarrollo humano en su entorno (Bopp and Briggs, 1981; Wofsy *et al., op cit*); además, que modifica su rol en la naturaleza, como es el caso de la Marisma Rocuant.

En el presente trabajo se describe el efecto de una marisma altamente contaminada por desechos orgánicos en la Bahía de Concepción y se evalúa sus relaciones recíprocas, referidas principalmente a los nutrientes.

## AREA DE ESTUDIO

La Marisma Rocuant ubicada en el sector sur-oeste, en la cabeza de la Bahía de Concepción (36°40' Lat. Sur y 73° 02'

* En el sentido que usa Odum (1971)

Long. Oeste), está integrada a un sector urbano de Talcahuano y se conecta a la bahía a través de un estrecho canal, conocido como Canal el Morro *(Fig. 1)*. La comunicación con la bahía es permanente y tiene un fuerte componente mareal (diferencia promedio anual de mareas de aproximadamente un metro). Su superficie de 990.000 $m^2$ y la escasa profundidad (*i.e.*, profundidad menor de 2 m), determina una alta fluctuación en su área, producida por las mareas semidiurnas.

Su origen geomorfológico se vincula a los episodios finales de la actual configuración del delta del río Bío Bío.

Cronológicamente es posterior a la transgresión marina flandriense, es decir, posterior a los 1600 años antes del actual. La presencia de microacantilados en el antiguo delta del río es una evidencia de la penetración de esta transgresión. El retroceso del mar y la alta sedimentación formó la llanura de Concepción (Biro, 1979). Las crecidas posteriores de los ríos Bío Bío y Andalién dieron origen a terrazas de inundación, con lechos y canales de rebalses que, unidos a la fisiografía del área (pendiente débil), mar somero y frentes de ola dominantes facilitaron la sedimentación y esbozaron la configuración de las marismas litorales en la región (Ilabaca, 1979). La formación de la barra es más reciente y en mapas del siglo XVII y XVIII, aparece fraccionada en dos secciones y denominada "Isla de los Reyes" (Ilabaca, com. pers.). Una vez consolidada la barra, se configuró en el sector oeste de la bahía, el estuario de Rocuant que recibió los flujos mareales e infiltraciones de los ríos Andalién y Bío Bío, conformando un tapiz vegetacional típico, surcado por una débil red de canales. Su vegetación actual corresponde a una comunidad Spartina-Salicornia, con una cobertura de 50% para cada especie.

A la Marisma Rocuant confluyen el sistema de descarga de aguas lluvias, un emisario del alcantarillado con un flujo de *ca.*, 5000 $m^3\ d^{-1}$, sin tratamiento previo (Municipalidad de Talcahuano, 1975) y diferentes efluentes de residuos industriales.

Estudios con colorantes realizados por el Instituto Nacional de Hidráulica (1983), indicaron que en el sector superior se producen numerosos vórtices con corrientes de retorno y el tiempo de residencia de las aguas es de varios ciclos de mareas.

El volumen de agua transportada a través de la desembocadura en máxima marea es de *ca.*, 1.075.000 $m^3$; de 239.000 $m^3$ con marea media y de 180.000 $m^3$ con marea mínima. Las velocidades observadas son de 1.9 m/s.; de 0.75 m/s a 1.15 m/s y 0.85 m/s para máxima marea, marea media y mínima respectivamente (Instituto Nacional de Hidráulica, 1983).

La Marisma Rocuant presenta problemas graves para la comunidad que vive en su entorno debido a: i) un cauce no definido que provoca graves inundaciones y problemas de contaminación por desprendimientos de gases tóxicos (*i.e.*, sulfuro de hidrógeno), que afectan un extenso sector residencial, ii) problemas sanitarios, al funcionar como depósito de desechos industriales y domésticos, foco permanente de insectos e infecciones patógenas (Longeri, 1978); iii) problemas urbanos, por su aspecto pantanoso de aguas turbias y malolientes sobre todo en baja mar, y iv) su conexión con la bahía determina que su evolución tenga un efecto sobre este cuerpo de agua.

## MATERIALES Y METODOS

El muestreo para establecer el balance de masa se realizó el 12, 13 y 15 de enero de 1986 y consideró 9 estaciones en la bahía, distribuidas en forma concéntrica a la desembocadura de la marisma, separadas entre ellas en *ca.*, una milla. Además se estableció una estación al interior de la marisma (ver Fig. 1). El número de muestras dependió de la profundidad de cada estación.

El muestreo fue realizado en tres etapas: la primera se inició desde la estación 1 a la 9, lo que permitió determinar

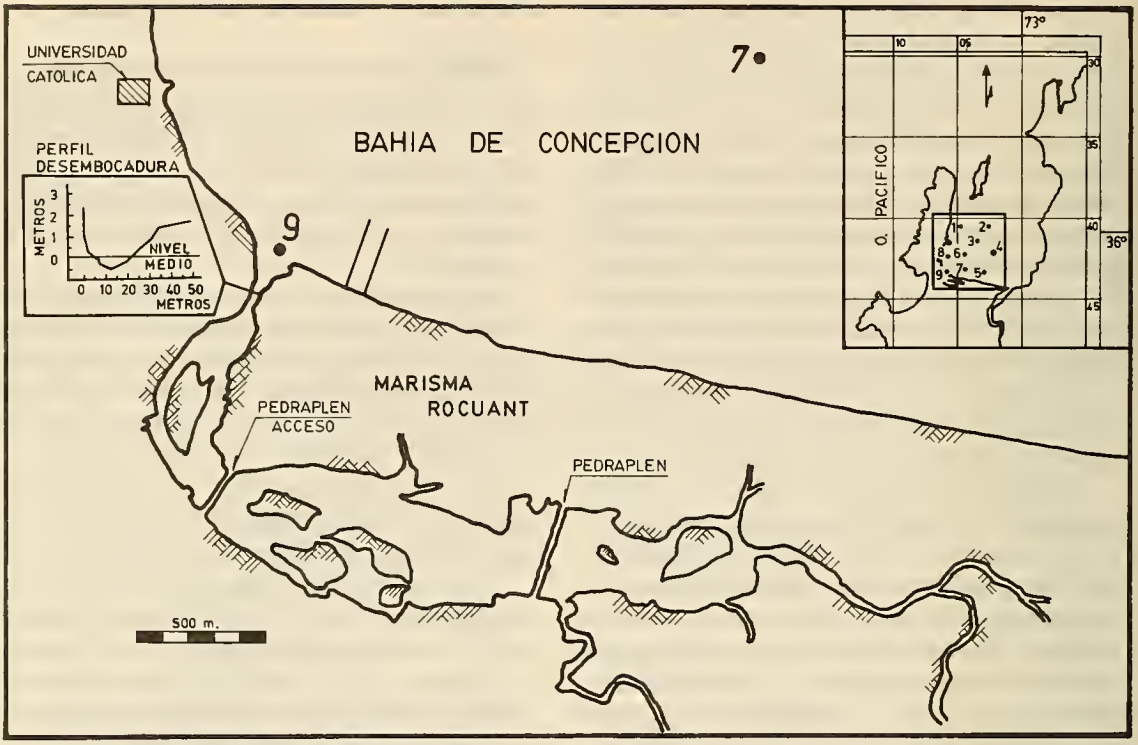



Figura 1.- Mapa de ubicación de la Marisma Rocuant, en la Bahía de Concepción y detalles sobre su forma y perfil de la desembocadura.

la concentración de nutrientes y materia orgánica del agua de la bahía que ingresa a la marisma en el período de llenante; una etapa intermedia en que se muestreó dentro del canal y posteriormente se procedió a muestrear desde la estación 9 a la 1. (*ca.*, media hora después de la mínima marea), para determinar la concentración de nutrientes y materia orgánica y el área de influencia del agua proveniente de la Marisma Rocuant. Cuando las condiciones se acercaban a la anoxia, se obtuvo muestras de agua para los análisis de oxígeno disuelto, pH y sulfuro de hidrógeno para establecer los cambios en las concentraciones y así detectar procesos de óxido-reducción.

Las muestras fueron tomadas utilizando balde en superficie y muestreadores de PVC, del tipo Niskin de *ca.*, 4 l de capacidad desde la columna de agua. El oxígeno disuelto, sulfuros y amoníaco fueron fijados a bordo y analizados de acuerdo a los métodos de Winkler, modificado (Carrit and Carpenter, 1966); Fonselius (1983); y Koroleff (1983), respectivamente. El pH fue tomado con un medidor de pH ÓRION RESEARCH, modelo 701 A, inmediatamente después del muestreo.

Las muestras para el análisis de nutrientes fueron filtradas con 0.45 u y refrigeradas durante la noche posterior al muestreo. Las muestras de nitritos, nitratos y fosfatos fueron analizadas según Strickland y Parsons (1972); las concentraciones de nitrógeno y fósforo total según Koroleff (1971), adaptado por Valderrama (1981).

El contenido de materia orgánica se obtuvo por filtración de la muestra de agua con un filtro sin cenizas el cual fue secado a 60°C por 24 horas y posteriormente calcinado a 450°C. El contenido de carbono de las muestras fue determinado

por oxidación húmeda con dicromato (Strickland & Parsons, 1972).

La estimación del aporte o consumo de masa de las variables en la marisma, se realizó de acuerdo a los flujos calculados por el INH (1985) y considerando las concentraciones promedio en la marisma y en la estación de referencia de la bahía, de acuerdo a la siguiente ecuación:

Flujo de masa = (CVm - CVb) * FMm

donde:

CVm = Concentración de la variable en la marisma (mg $m^{-3}$).

CVb = Concentración de la variable en la bahía (mg $m^{-3}$).

FPm = Flujo Promedio marisma ($m^3$ $día^{-1}$).

Si (CVm-CVb) es positivo, entonces la marisma exporta, en cambio si es negativo la marisma importa.

Durante este mismo período se realizó mediciones superficiales de biomasa bacteriana en las posiciones de las estaciones 6 y 2 (Bernal, Com. pers.) usando el método de Hobbie *et al.,* (1977) y, además, un Test de Cultivo Standard en Placa (*i.e.,* condiciones aeróbicas y anaeróbicas), para reconocer los grupos principales de bacterias y hongos en muestras de aguas coloreadas de la marisma.

## RESULTADOS

### DISTRIBUCION DE VARIABLES

**Temperatura.-** Las temperaturas registradas en la desembocadura de la marisma (estación 10) a la hora de más alta marea fue de 21°C, con un gradiente superficial negativo de 1.0°C $Km^{-1}$ para las estaciones más alejadas. Esta diferencia de temperatura no puede explicarse sólo por calentamiento "in situ" debido a la extensión y baja profundidad de la marisma o por el gran número de reacciones acopladas que se están produciendo, tanto en la columna de agua como en su sedimento (Gieskes, 1975; Fröenlich *et al:* 1979), sino que además debe considerarse los problemas de contaminación térmica de efluentes industriales. Temperaturas hasta de 31°C han sido registradas ocasionalmente en algunos sectores de la marisma cerca de los emisarios ubicados entre la boca y el primer pedraplén.

Los aportes de aguas dulces así como los afluentes con altas temperaturas disminuyen la densidad del agua de la marisma, de tal manera que durante la baja marea fluyen superficialmente hacia la bahía. Esta situación puede observarse en las isolíneas de distribución superficial (Figs. 2 y 3).

**Oxígeno disuelto.-** Los valores de oxígeno superficial de las aguas de la bahía, antes de ingresar a la marisma, presentan concentraciones en un intervalo de 3,4 a 4,4 ml $O_2$/l.

Los valores de oxígeno disuelto de las aguas superficiales en la bahía para todas las estaciones estudiadas, estuvieron bajo el nivel de saturación: 4 ml/l *(i.e.,* sólo el 70%) y disminuyeron después de recibir aguas de la Marisma Rocuant, alcanzando valores hasta de 2,7 ml $O_2$/l. La situación es llevada al extremo que, en el interior de la Marisma Rocuant, las aguas son anóxicas y se detecta concentraciones de sulfuro de hidrógeno con valores de 3,0 a 5,2 umol de $S^{2-}$– $H_2S$/l. Parte de este sulfuro de hidrógeno gaseoso sale a la atmósfera produciendo un desagradable olor.

**Nutrientes.** Los nutrientes medidos corresponden a los compuestos inorgánicos del fósforo y del nitrógeno. De ellos, los más estables son los compuestos del fósforo que, por su menor reactividad química, se comportan como conservativos. Sin embargo, al igual que los nitratos, están sujetos a procesos mediados por actividad bacteriana, que no necesitan de un estado de equilibrio químico para que se inicie su transformación (Gieskes, *op cit.*). Los fosfatos inorgánicos disueltos son uno de los productos directos de la oxidación de la materia orgánica (Skei, 1982). La remineralización necesariamente lleva a una liberación de fosfa-

tos, situación que es observada en la marisma. Las aguas que ingresan poseen valores entre 3,7 y 4,3 umol/l P - $PO_4^{3-}$. Sin embargo, al interior de la Marisma Rocuant se alcanza valores superiores a 40 umol/l. En baja marea (vaciante), las aguas de la bahía y adyacentes a la marisma alcanzan hasta 12,4 umol/l (estación 7), dirigiéndose el flujo principal hacia el sector suroeste de la bahía (Figs. 4 y 5).

Estos resultados muestran una activa remineralización de materia orgánica dentro de la Marisma Rocuant y una exportación de fosfatos y fósforo total, proceso realizado por la actividad mareal (Odum, 1980).

De los compuestos del nitrógeno, los nitritos (especie inestable de estado de oxidación intermedio) no presentan un comportamiento diferente entre la alta y la baja marea en los distintos niveles muestreados en la columna de agua de la bahía. En cambio, en el interior de la marisma los nitritos no fueron detectados. Los nitratos disminuyen su concentración hacia la marisma. Las concentraciones de 16 umol/l en la Est. 2, en la bahía decrecen a 9 umol/l en la Est. 9 en la desembocadura de la marisma, llegando a cero en su interior. Las mayores diferencias en las concentraciones promedio se observan en las estaciones más cercanas a la desembocadura de la marisma.

**Nitrógeno y Fósforo Total.-** El nitrógeno total muestra un gradiente negativo hacia la marisma, durante el período de llenante. Sin embargo, el gradiente se hace positivo durante la vaciante, con una máxima concentración de 300 umol/l en la estación 7, ubicada en la bahía y próxima a tres emisarios industriales (Figs. 4 y 5).

Los valores de fósforo total muestran un comportamiento semejante, gradiente positivo hacia la marisma en vaciante. Las mayores diferencias entre fosfatos y fósforo total ( >1.5 umol/l) se observan en las estaciones 7, 8 y 9, las más cercanas a la desembocadura de la marisma.

**Materia orgánica.-** La cantidad de materia orgánica de las aguas de la bahía al ingresar a la marisma presentan un promedio de 64 umol/l; en el Canal el Morro es del orden de 160 umol/l en el momento de más alta marea; en vaciante el mayor valor observado fue de 100 umol/l en la estación 7; siendo el promedio de las muestras de superficie de las estaciones más cercanas a la desembocadura de 80 umol/l. La diferencia es de *ca.*, 16.2 umol/l en los muestreos de superficie en los períodos de alta y baja marea, indicando que la Marisma Rocuant aportaría materia orgánica a la Bahía de Concepción.

## ESTIMACION DE ENTRADA/SALIDA DE MASA Y ENERGIA

**Importación / exportación.-** Los cálculos para estimar el intercambio de masa fueron hechos con el propósito de identificar las variables que son importadas y/o exportadas por la actividad metabólica de la marisma. Los principales compuestos químicos medidos y una evaluación de su intencambio de masa se pueden observar en la Tabla I.

## OBSERVACIONES BIOLOGICAS

**Acción antropogénica.** En el período durante el cual se realizó el muestreo, la marisma estaba alterada por: dos pedraplenes construidos artificialmente; uno, utilizado como camino de acceso a una área donde funcionan 4 industrias pesqueras y otro, construido como soporte de un emisario de aguas servidas. Esto nos permite dividir la marisma en: a) un sector de la desembocadura y el primer pedraplén; b) un sector bajo entre los pedraplenes y c) un sector alto, después del último pedraplén. Otra alteración son los emisarios o efluentes industriales que desembocan directamente a la marisma (14) o en sus inmediaciones (2) (Tabla II).

TABLA I.- Rangos de variables químicas medidas en la Bahía de Concepción (Est. 2) y en la Marisma Rocuant.

| Variables | (Unidades) | Bahía (rangos) | Marisma* (promedios) | Intercambio masa |
|---|---|---|---|---|
| Temperatura | °Celsius | 15,0-14,0 | 21,00 | |
| pH | | 7,8-8,2 | 7,00 | |
| $O_2$ disuelto | ml/l | 6,0-4,1 | n.d. | |
| ($NO_3^-$-N) | u mol/l | 16,7-15,0 | 0,00 | – 233,0 Kg/d |
| ($NO_2^-$-N) | id. | 1,7-1,5 | 0,00 | – 23,7 Kg/d |
| ($NH_4^+$-N) | id. | 31,6-18,6 | 130,70 | + 1.781,6 Kg/d |
| ( N total) | id. | 102,0-43,3 | ** | |
| ($PO_4^{3-}$-P) | id. | 5,9-3,6 | 59,10 | + 1.639,8 Kg/d |
| (P total) | id. | 6,2-5,0 | 9,55 | |
| ($H_2S$-S) | id. | n.d. | 98,00 | |
| MOP | mg/l | 95,0-68,0 | 164,40 | + 69.160,0 Kg/d |
| ( COP ) | ug C/l | 1.018,0-342,0 | 1.451,00 | |

* Profundidad de estación 0,5 m, siendo el valor un promedio de 3 réplicas. Medición hecha en período de estoa.
** Probables interferencias en el método. n.d. Valor no detectado.

TABLA II.- Emisarios de aguas servidas y desechos industriales en la Marisma Rocuant.

| Tipo Emisario | Número | Diámetro | Lugar Descarga | Volumen |
|---|---|---|---|---|
| | | cm | según texto | $m^3\ d^{-1}$ |
| Pesq. Landes | 3 | 40 | Boca[a] | |
| id. | 1 | 45 | id. | |
| Pesq. Camanchaca | 1 | 25 | id. | |
| Pesquera Golfo | 1 | Canal | id. | |
| Pesq. Iquique | 3 | 30 | id. | |
| id. | 1 | 100 | id. | |
| id. | 1 | 10 | id. | |
| Pesq. Indumar | 1 | 23 | 2do. Pedraplén[b] | |
| Pesq. Vásquez | 1 | 25 | id. | |
| Pesq. San Miguel | 1 | 30 | id. | |
| Aguas servidas | 1 | | id. | 5.000 |
| Pesq. Tamarugal | 1 | 25 | Bahía de Concepción | |
| ? | 1 | 8 | id. | |

**Vida en el cuerpo de agua.** En las muestras de agua de la marisma no fue posible encontrar macrofauna o larvas, y los organismos presentes no excedieron las 20 micras. Un análisis microscópico cualitativo realizado en muestras de aguas coloreadas (Fotos 1 y 2) muestran algunas algas verde azules, microflagelados, microciliados y una alta concentración de bacterias (Foto 7). Los resultados de bacterias totales son presentados en la Tabla III. Entre las bacterias aeróbicas las principales encontradas son: *Streptococcus fecalis* (n.m.p./g) 1.100 ufc/g y coliformes 460 ufc/g. De estas últimas, *E. coli* alcanzó un recuento de 150.000 m.o./l. Es interesante establecer que *Pseudomonas spp.* estuvo bajo las concentraciones esperadas para aguas naturales y que no fueron detectadas *Salmonella spp.* ni hongos.

En el análisis anaeróbico, los cultivos ensayados detectaron, como principales, bacterias reductoras de nitrito $5.0 \times 10^5$ u.f.c./g y bacterias reductoras de sulfato $1.5 \times 10^3$ u.f.c./g.

Foto. 7.— Fotomicrografía del agua de la marisma (Aumento x 900).

Tabla III.- Número Total de Bacterias, para cultivos en placas de agar de muestras de agua de la Marisma Rocuant, en ensayos aeróbico y anaeróbico.

| | |
|---|---|
| Recuento Total Aeróbico (35°C + /-1) | $3,5x10^4$ u.f.c. |
| Recuento Total Anaeróbico (25°C + /-1) | $6,8x10^5$ u.f.c. |
| Total Bacterias | $1,03x10^6$ u.f.c. |

**Vegetación de la marisma.** La franja de vegetación bordea los cuerpos de agua principales de la marisma y la red de canales de inundación. La comunidad de plantas halófitas se caracteriza por tres especies principales: *Salicornia fruticosa* (L.) Scott, *Spartina densiflora* Brongn. y *Chenopodium macroesperma* Hook, ssp. *halophyllum* (Phil.) Aellen.

La formación vegetal puede caracterizarse como una comunidad de *Spartina Salicornia,* con coberturas cercanas a un 50% para cada especie y se distribuye en las partes altas bordeando una franja de *ca.,* 80 m del canal principal y unos pocos metros en los canales de inundación. En la franja bordeante de los canales principales y hasta 40 m de distancia no existe invasión por especies introducidas. En el sector Este se observa una gruesa capa de materia orgánica cubriendo los canales de inundación y un deterioro visible de las plantas halófitas (Fotos 2 y 3). En los sectores inmediatamente adyacentes al cuerpo de agua, la comunidad Spartina-Salicornia comparte la dominancia con una tercera especie *Chenopodium macrosperma* Hook, ssp. *halophyllum* (Phil.) Aellen, por su resistencia a la salinidad.

**Modificaciones en las comunidades de playa de arena en la Bahía de Concepción.** En noviembre de 1986, en la playa de arena adyacente a la desembocadura y después de los temporales comenzaron a vararse conchas y ejemplares de *Mulinia edulis.* Esto constituyó la primera evidencia que una mortandad masiva de individuos adultos habría ocurrido. Mediante buceo autónomo se constató que en el infralitoral, la mortandad habría afectado además de *Mulinia sp.,* a jaibas *(Cancer coronatus)* y navajuelas *(Tagelus dombeyii)* (Tarifeño, com. pers.). Las fotos 5 y 6, obtenidas en marzo de 1987, muestran en detalle y una vista general de la playa después de este evento. La franja de conchas cubrió aproximadamente 1,5 km de longitud y 12 m de amplitud. Una estimación de los ejemplares muertos y varados en la playa fue de 28,8 x $10^{12}$ individuos.

## DISCUSION Y CONCLUSIONES

El estado actual de la Marisma Rocuant puede evaluarse como un área altamente contaminada bajo criterios de calidad estética del agua, establecidos por la EPA (Red Book, Environmental Protection Agency, USA; American Fisheries Society, 1979). Esto incluye aspectos de "toxicidad o producción de efectos adversos a las respuestas fisiológicas en humanos, animales o plantas" y "efectos indeseables o molestos a la vida acuática". Los antecedentes publicados sobre la vida silvestre de la marisma son escasos y relatos de vecinos afirman que la marisma fue un área donde existió abundante vida silvestre hace 25 años. Su proceso de alteración se inició hace 15 años, con la incorporación de esos terrenos a la actividad industrial. Estudios realizados por Parra *et al.*, (1977), cuando el proceso de alteración había comenzado, estrega una lista de especies identificadas en el cuerpo del agua. Lo más notable es la información referida a la existencia de organismos, entre ellos, macroalgas (*i.e., Enteromorpha intestinalis, Ulva lactuca*); fitoplancton, con dominancia de diatomeas *Skeletonema costatum, Sirurella striatula, Girosigma attenuatum* y otras) y zooplancton, donde se describe especies de copépodos, larvas de poliquetos y moluscos, nemátodos y ciliados (Parra *et. al.*, 1977). En diez años, la situación se ha agudizado convirtiéndose en irreversible, las diferencias para este lapso de tiempo son alarmantes (Tabla IV). En las condiciones actuales todas estas especies han desaparecido y sólo se puede observar protozoos y bacterias.

Los factores principales que modificaron el metabolismo de la marisma fueron la reducción del flujo mareal (Parra *et. al.*, op. cit.) y el aumento de la carga de material orgánico de origen antropogénico, lo que redujo significativamente la concentración de oxígeno disuelto, alternado las condiciones de óxido-reducción. Por otra parte, la descomposición biogénica de la materia orgánica sigue una secuencia definida de agentes oxidantes disponibles, *i.e.*, $O_2 > NO_3^- > MnO_2 > Fe(OH)_3 > SO_4^{2-} > CO_2$ (Watson *et al.*, 1985; Fröenlich *et. al.*, 1979). Esto modifica las concentraciones de los nutrientes disueltos y produce cambios en el pH, potencial redox y la especiación de compuestos como por ejemplo, $NH_3 \rightleftharpoons NH_4OH$, donde el nivel de concentración de $NH_3$ puede ser altamente tóxico.

La contaminación térmica tampoco ha estado ajena a la actividad industrial y se ha detectado temperaturas mayores de 21°C en extensas áreas superficiales de la marisma.

Las modificaciones químicas producidas en la marisma tienen un impacto significativo en la Bahía de Concepción. De hecho, esta interacción ha podido ser estudiada sobre la base de los patrones de distribución superficial de variables medidas en el área adyacente a la desembocadura y estudios anteriores desarrollados en la bahía (Ahumada *et. al.*, 1983; Ahumada *et. al.*, 1984a; Ahumada *et al.*, 1984b). El análisis de esta información (ver Figs. 3, 4, 5 y 6) permite establecer que la energía mareal produce dos patrones de distribución superficial, con concentraciones diferentes, detectando las mayores concentraciones durante la vaciante.

En vaciante los gradientes positivos hacia la marisma son temperatura, $N\text{-}NH_4^+$, N total, MOP y $P\text{-}PO_4^{3-}$. Para el mismo período se detectan gradientes negativos hacia la marisma, como por ejemplo: oxígeno disuelto, $N\text{-}NO_3^-$ y $N\text{-}NO_2^-$. Una de las variables que presenta concentraciones extremadamente altas es el $N\text{-}NH_4^+$, su origen parecería ser el producto de: a) la contaminación por aguas servidas, b) la reducción de los nitratos por actividad bacteriana y c) la probable fijación bacteriana. En la Bahía de Concepción y cerca de la desembocadura de la marisma existen dos efluentes de aguas industriales que producen un área de alta concentración de $N\text{-}NH_4^+$ y

TABLA IV.- Comparación de información obtenida en la Marisma Rocuant en 1976 (Parra *et al.*, 1977) y en 1986, presente trabajo.

| Variables | (Unidades) | Marisma | Marisma |
|---|---|---|---|
| | | 1976 | 1986 |
| Temperatura | °Celsius | —— | 21,0 |
| pH | | 7,7 | 7,00 |
| $0_2$ disuelto | ml/l | 4,9 | 0,00 |
| $(NO_2^- - N)$ | ppm | 0,021 | 0,00 |
| $(NO_3^- - N)$ | ppm | —— | 0,00 |
| $(NH_4^+ - N)$ | ppm | | 1,83 |
| ( N total) | ppm | 21,6 | —— |
| $(H_2S - S)$ | ppm | ausencia | 3,2 |
| MOD | ? | alta | no realizado |
| COP | ug C/l | —— | 1.451,0 |
| MOP | mg/l | —— | 164,4 |
| Fitoplancton | relativas | abundante | ausencia |
| Algas bénticas | id. | exuberante | ausencia |
| Zooplancton | id. | Presencia | ausencia |
| Algas bénticas | id. | exuberante | ausencia |
| Microciliados | id. | | abundantes |
| Microflagelados | id. | | abundantes |
| Bacterias | id. | | muy abundantes |
| Flora | id. | | halófitas |

$P\text{-}PO_4^{3-}$. Esa misma área presenta también alta biomasa bacteriana.

En general, las plumas de distribución superficial de los nutrientes regenerados en la marisma presentan patrones semejantes, pero diferentes a los compuestos que son usados en la oxidación de la materia orgánica almacenada en la marisma.

Debido a la alta carga orgánica que recibe la marisma y a las condiciones de anoxia, es frecuente la aparición de una coloración roja intensa en las aguas (Fotos 1 y 2), cuyas plumas durante la vaciante se diluyen en la Bahía de Concepción. El análisis microscópico de muestras obtenidas indican la presencia de altas concentraciones de microflagelados, microciliados y bacterias (Foto 7). En la bahía, sector adyacente a la marisma, se ha detectado valores de biomasa bacteriana para el período en estudio de 22 x $10^6$ bacterias/ml. Estos valores son superiores a los informados en trabajos anteriores y que corresponden a 6.900 NTB/ml (Longeri, 1979), aunque debe considerarse que las metodologías usadas son distintas. El número más probable de *E. coli* fue de 460 mo/ml, siendo el estándar para aguas muy contaminadas más de 30.000 mo/l (Longeri, 1979). El cultivo de bacterias en placas de agar aplicado al agua de mar es un método que subestima el recuento de bacterias (Azam & Fuhrman, 1984). Sin embargo, presenta evidencias cualitativas en la presencia de algunos tipos de bacterias. En el presente trabajo la estimación de coliformes fue de 460.000 ufc/l y *E. coli* de 150.000 mo/l, concentraciones menores que las estimaciones hechas por Longeri (*op. cit.*). Pudiendo explicarse esta discrepancia por el levantamiento del emisario de aguas domésticas servidas, realizado 6 meses antes del muestreo bacteriano. Sin embargo, en este muestreo, los *Streptococus fecalis* fueron las bacterias más numerosas para los cultivos en placa. Entre otras bacterias de importancia, pudo identificarse cianobacterias, bacterias reductoras de nitrito y reductoras de sulfato.

Los compuestos producidos en exceso, por el metabolismo anaeróbico de la marisma, que presentan mayor grado de peligro para la salud humana y para el desarrollo de la vida acuática son: a) la producción de sulfuro de hidrógeno que se libera a la atmósfera y b) el $NH_4OH$, que resulta de la reducción de los compuestos de nitrógeno. El sulfuro de hidrógeno por su avidez en la formación de complejos metálicos y organo-metálicos, al encontrarse en la atmósfera o ser respirado en forma continua puede producir daño a la salud humana; además, produce el deterioro de pinturas y corrosión de metales. Se ha informado que el $NH_3$, una de las fracciones del amonia total, es altamente tóxico para los peces en agua dulce (AFS, 1979), lamentablemente no existen referencias de su toxicidad para agua de mar. Sin embargo, las concentraciones en la marisma y aguas adyacentes son un orden de magnitud mayor que los límites de protección designados por la EPA para las aguas continentales. Esto es más grave aún, puesto que en el agua de mar el equilibrio se desplaza hacia el $NH_3$ (Morel, 1983), que es la

especie de mayor concentración y toxicidad.

Por otra parte, ya se detecta la alteración del ecosistema en las aguas adyacentes a la marisma, las que muestran una importante disminución del oxígeno disuelto en superficie y en una amplia extensión. Recientemente fue observada una mortandad masiva de organismos marinos en el sitio de desembocadura, fenómeno que afectó principalmente a ejemplares adultos de *Mulinia edulis*. (Fotos 5 y 6), organismo que presenta una gran resistencia a las condiciones de anoxia. En la Bahía de Concepción han sido descrito fenómenos de varada y mortandad de organismos marinos (Ahumada y Arcos, 1976); sin embargo, en este caso el fenómeno fue localizado y no afectó a peces pelágicos o de otro tipo de hábitat, como en los casos anteriores. Por último, los efectos estéticos y el deterioro de la calidad de vida de las poblaciones vecinas a la marisma son el costo de una mala administración de la zona costera.

Para terminar, parece oportuno citar las palabras de Frey & Basan (1985): "La investigación para entender las marismas y sus procesos, no es solamente un ejercicio académico en ciencia, si no que además, tales estudios tienen un importante alcance posterior para nuestra propia calidad de vida".

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración en el análisis químico de las muestras de María Cristina Lagos, Ruth Muñoz, Lilian Marin y Claudio Olavarría, todos ellos estudiantes de Química, cuyo entusiasmo y perseverancia permitió llevar a cabo este trabajo. Agradecemos también al Dr. Roberto Rodríguez por la identificación de la flora de la marisma, al Prof. Pedro Ilabaca por la discusión relacionada al origen de la Marisma Rocuant, a José Morillas por la obtención de fotomicrografías y a Tomás Contreras por los cultivos microbiológicos en placas.

Finalmente agradecemos a la Subdirección de Investigación de la Pontificia Universidad Católica de Chile-Sede Talcahuano, por el apoyo brindado.

Este trabajo fue parcialmente financiado por el Proyecto FONDECYT N° 654/87.

## BIBLIOGRAFIA


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., A. Rudolph & V. Martínez. 1983. Circulation and fertility of waters in Concepcion Bay. Estuarine, Coastal and Shelf Science. *16*: 95-105.

Ahumada R., R. Morales, A. Rudolph & P. Matrai. 1984a. Efectos del afloramiento costero en la diagénesis temprana de los sedimentos de la Bahía de Concepción, Chile. Bol. Soc. Biol. Concepción, Chile. *55*: 135-146.

Ahumada R., A. Rudolph & P. Matrai. 1984b. Oxígeno disuelto y su relación con los nutrientes en la Bahía de Concepción, durante un período de surgencia. Invest. Mar., Valparaíso, *12*: 15-26.

American Fisheries Society. 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., Bathesda, MD. 313 pp.

April G.C. & G.H. Raney. 1980. Predicting the effects of storm surges and abnormal river flow on flooding and water movement in Mobile Bay. Alabama. 217-245. In: P. Hamilton & K.B. Macdonald (Eds.), Estuarine and Wetland Processes, with emphasis on Modelling. Marine Science 11. Plenum Press. New York.

Azam F. & J.A. Fuhman. 1984. Measurement of Bacterioplankton Growth in the Sea and Its Regulation by Environmental Conditions. 179-196. In: J.E. Hobbir & J. leB. Williams (Eds.), Heterotrophic Activity in the Sea. Plenum Press, New York, 569 pp.

Berner R., M. Moran & R. Hodson. 1985. Effect of pH and plant sources on lignocellullose biodegradation rates in two wedlands ecosystems the Okefenokee swamp and Georgia salt marsh. Limnol., Oceanogr., *30*(3):489-499.

Biro L. 1979. Geología de la franja costera entre Cocholgüe y Coronel, Provincia de Concepción (36°35' - 37°00' Lat. Sur), Chile., 20 - 30 págs. In: V.A. Gallardo (Ed.), Actas Seminario Taller Sobre Desarrollo e Investigación de los Recursos Marinos de la Octava Región, Chile. Concepción, Chile. Universidad de Concepción. 567 págs.

Bopp F. & R. Biggs. 1981. Metals in estuarine sediments: Factor analisis and its environmental significance. Science, *214*: 441-443.

Carrit D.E. & J.H. Carpenter. 1966. Comparisons and Evaluation of Currently Employed Modifications of the Winkler Method for Determining Dissolved Oxygen. J. Mar. Res., *24*: 286-312.

Colinvaux P. 1980. Introducción a la Ecología. Editorial Limusa. México. 679 págs.

Dankers N., M. Binsbergen, K. Zegers, R. Laane & M.R. van der Loef. 1984. Transportation of water, particulate and dissolved organic and inorganic matter between a salt marsh and the Emsdollard estuary. The Netherlands. Estuarine, Coastal and Shelf Science, *19* (2): 143-165.

Fonselius S.H. 1983. Determination of hydrogen sulphide. 73-79 pp. In: Grasshoff K., M. Ehrhardt & K. Kremling (Eds.), Methods of sea water analysis. 2nd. Edition. Verlag Chemie 419 pp.

Environmental Protection Agency. 1977. Quality Criteria for Water. Office of water and Hazardous Materials, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., 256 pp.

Frey R.W. & P.B. Basan. 1985. Coastal Salt Marshes. 224-301. In: R.A. Davis, Jr. (Ed.). Coastal Sedimentary Environments (Second Edition). Springer-Verlag, New York, 716 pp.

Fröenlich, P., G.P. Klinkhammer, M.L. Bender, N.A. Luedlke, G.R. Heath, D. Cilling, P. Gauphin, D. Hammord, B. Hartman & A. Maynard. 1979. Early oxidation of organic matter in pelagic sediment of the eastern Equatorial Atlantic: suboxic diagenesis. Geoquim. Cosmochim. Acta, *43* (7): 1075-1090.

Gardner L.R. & C. Gorman. 1984. The summertime net transport of dissolved oxygen, salt and heat in a salt marsh basin, Nort Inlet S.C. Estuarine Coastal and Shelf Science, *19* (3): 331-339.

Gieskes M.J. 1975. Chemistry of interstitial waters of marine sediments. Annual Review of Earth and Planetary Science, *3*: 433-663.

Hobbie J.E., R.J. Daley & S. Jasper. 1977. Use of the Nucleopore filters for counting bacteria by fluorecence microscopy., Appl. Environ. Microbiol. *37*: 805-812.

Howart R. & R. Marino. 1984. Sulphate Reduction in Salt Marshes, With Some Comparisons to Sulphate Reduction in Microbial Mats. 245-263. In: Microbial Mats: Stromatolites. Alan R. Liss, Inc., New York.

Ilabaca P. 1979. Transgresión Marina Reciente en el Litoral de Concepción: Antecedentes Morfológicos., 31-40 págs. In: V.A. Gallardo (Ed.) Actas Seminario Taller Sobre Desarrollo e Investigación de los Recursos Marinos de la Octava Región, Chile. Universidad de Concepción. 567 págs.

Instituto Nacional de Hidráulica (IHN). 1983. Estudio de Regularización del Canal El Morro. Chile. Informe Final, 2 Vol., Municipalidad de Talcahuano.

Jordan T.E. & D.L. Correl. 1985. Nutrient chemistry and hidrology of interstitial water in Brackish tidal Marshes of Chesapeake Bay. Estuarine, Coastal and Shelf Science, *21*: 45-55.

Koroleff F. 1983. Determination of ammonia. 150-157 pp. In: Grasshoff K., M. Ehrhardt & K. Kremling (Eds.), Methods of sea water analysis. 2nd. Edition. Verlag Chemie 419 pp.

Longeri L. 1979. Análisis bacteriológico de las aguas

adyacentes a la playa de la Isla Rocuant. 267-274. In: V.A. Gallardo (Ed.). Actas Seminario Taller Sobre Desarrollo e Investigación de los Recursos Marinos de la Octava Región, Chile. Universidad de Concepción. 567 págs.

Mantoura R.F.C. & M.S. Woodward. 1983. Conservative behaviour of dissolved organic carbon in the Severn estuary: chemical and geochemical implication. Geochimica et Cosmochimica Acta, *47*: 1293-1303.

Morel F.M. 1983. Principles of Aquatic Chemistry. John Wiley & Sons, New York. 446 pp.

Municipalidad de Talcahuano, 1975. Informe preliminar sobre contaminación ambiental en la Región de Concepción. Informe de Circulación Restringida, Mimeo. 95 págs.

Odum E. 1980. The status of three ecosystem-level hypoteses regarding salt marsh estuaries: tidal subsidy, outwelling, and detritus-based food chains, 485-495 pp. In: V. Kennedy (Ed.), Estuarine hypotheses. Academic Press.

Odum E.P. 1971. Ecología de estuario. 388-400 pp., In: Ecología. Nueva Editorial Interamericana, 639 pp.

Parra O., E. Ugarte, L. Chuecas & L. Balabanoff. 1977. Estudios preliminares sobre contaminación del Canal El Morro, Bahía de Concepción, Chile. Bol. Soc. Biol. Concepción, Chile. *51* (2): 225-230.

Pritchard D.W. 1967. What is an estuary: Physical viewpoint. 3-5 p. In: G.H. Lauff (Ed.) Estuaries, American Association for the Advancement of Science. Washington D.C., Publication N° 83.

Rudolph A., R. Ahumada & S. Hernández. 1984. Distribución de la materia orgánica, Carbono orgánico y fósforo total en los sedimentos recientes de la Bahía de Concepción, Chile. Biologia Pesquera, *13*: 71-82.

Skei J.M. & S. Melsom. 1982. Seasonal and Vertical Variations in the Chemical Composition of Suspended Particulate Matter in an Oxygen - deficient Fjord. Estuarine, Coastal and Shelf Science. *14*: 61-78.

Strickland, J.D. & T.R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analisis. Bull. Fish. Res. Bd. Canada, *167*: 1-310.

UNESCO, 1986. Coastal off-shore ecosystems relationships. Final Report of SCOR/IABO/Unesco. Working Group 65 Texel, Netherlands, September 1983. Unesco technical papers in marine science, *48*:36 pp.

Valderrama, J. 1981. The simultaneous analysis of Total Nitrogen and Total Phosphorus in natural Waters. Marine Chemistry. *10*: 109-122. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam. The Netherlands.

Watson P.G., P.E. Frickers & C.M. Goodchild. 1985. Spatial and seasonal variations in the chemistry of sediment intertitial waters in the Tamar Estuary. Estuarine, Coastal and Shelf Science, *21*: 105-119.

Wofsy S.C., M.B. Mackay & J.W. Elkins. 1981. Transformation of nitrogen in a polluted, estuary nonlinearities in the demand for oxygen at low flow. Science, *213*: 754-756.

Wolaver T.G., W. Johnson & M. Marozas. 1984. Nitrogen and phosphorus concentration within Nort Inlet, South Carolina-speculation as to sources and sinks. Estuarine, Coastal and Shelf Science, *19*: 243-255.

Yelverton G.F. & C.T. Hackney. 1986. Flux of dissolved organic carbon and pore water through the substrate of a *Spartina alterniflora* marsh in North Carolina. Estuarine, Coastal and Shelf Science, *22*: 255-267.

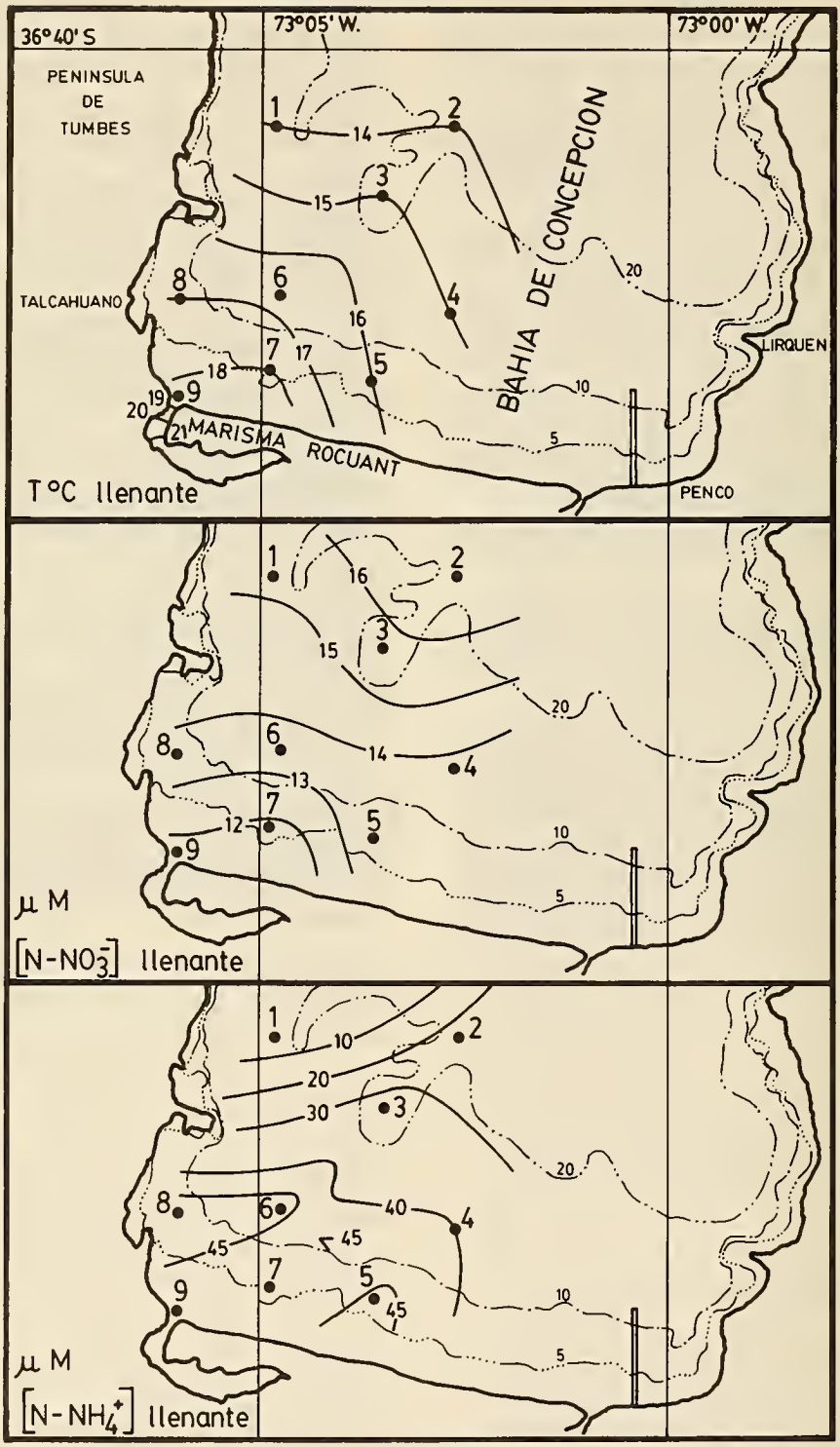



Figura 2.- Isolíneas superficiales que muestran la distribución de temperatura, nitrato y amonio, en el área de la bahía adyacente a la marisma, con marea llenante.

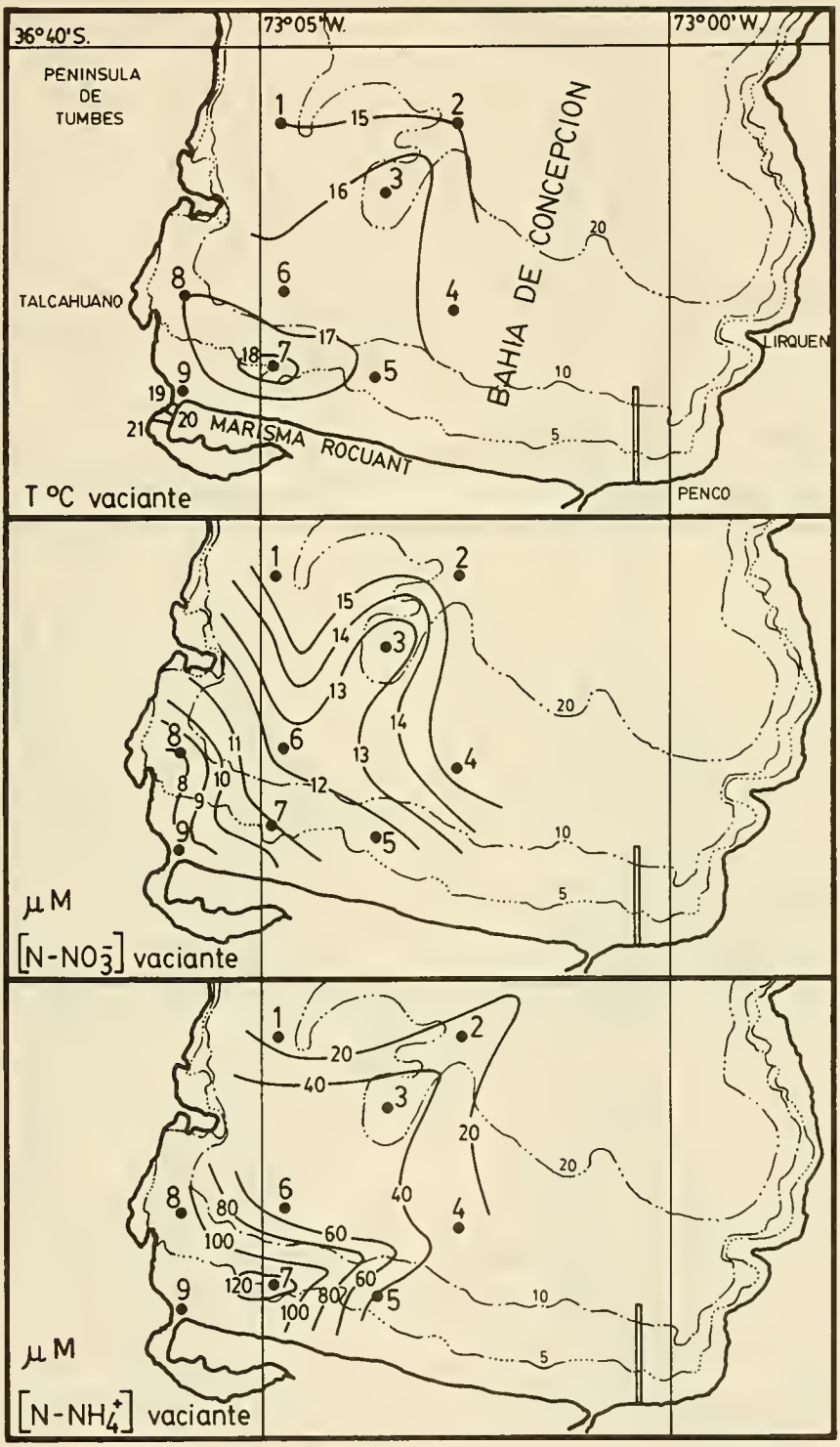



Figura 3.- Isolíneas superficiales que muestran la distribución de temperatura, nitrato y amonio, en el área de la bahía adyacente a la marisma, con marea vaciante.

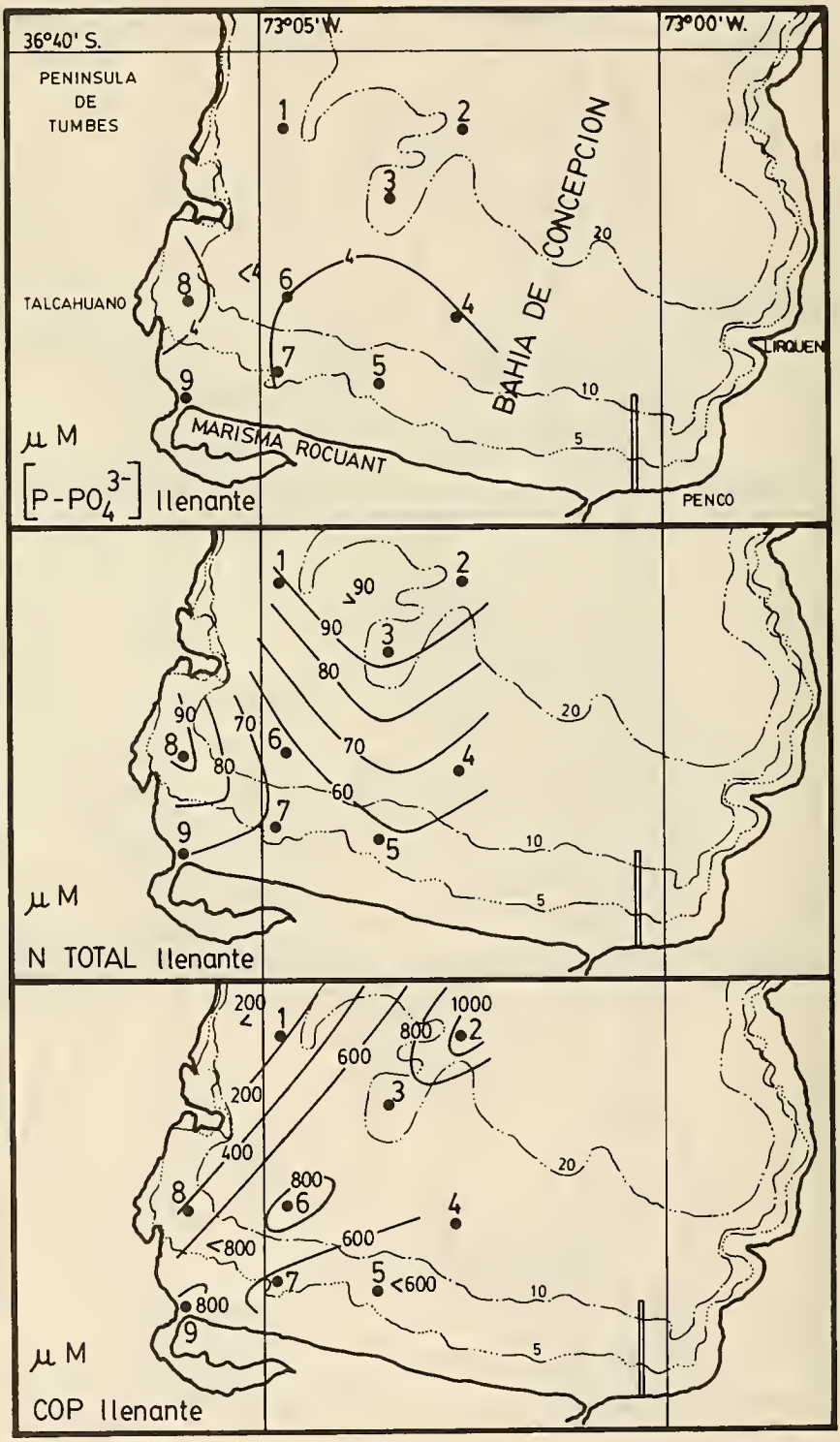



Figura 4.- Isolíneas superficiales que muestran la distribución de fosfato, Nitrógeno Total y Carbón Orgánico Particulado, en el área de la bahía adyacente a la marisma, con marea llenante.

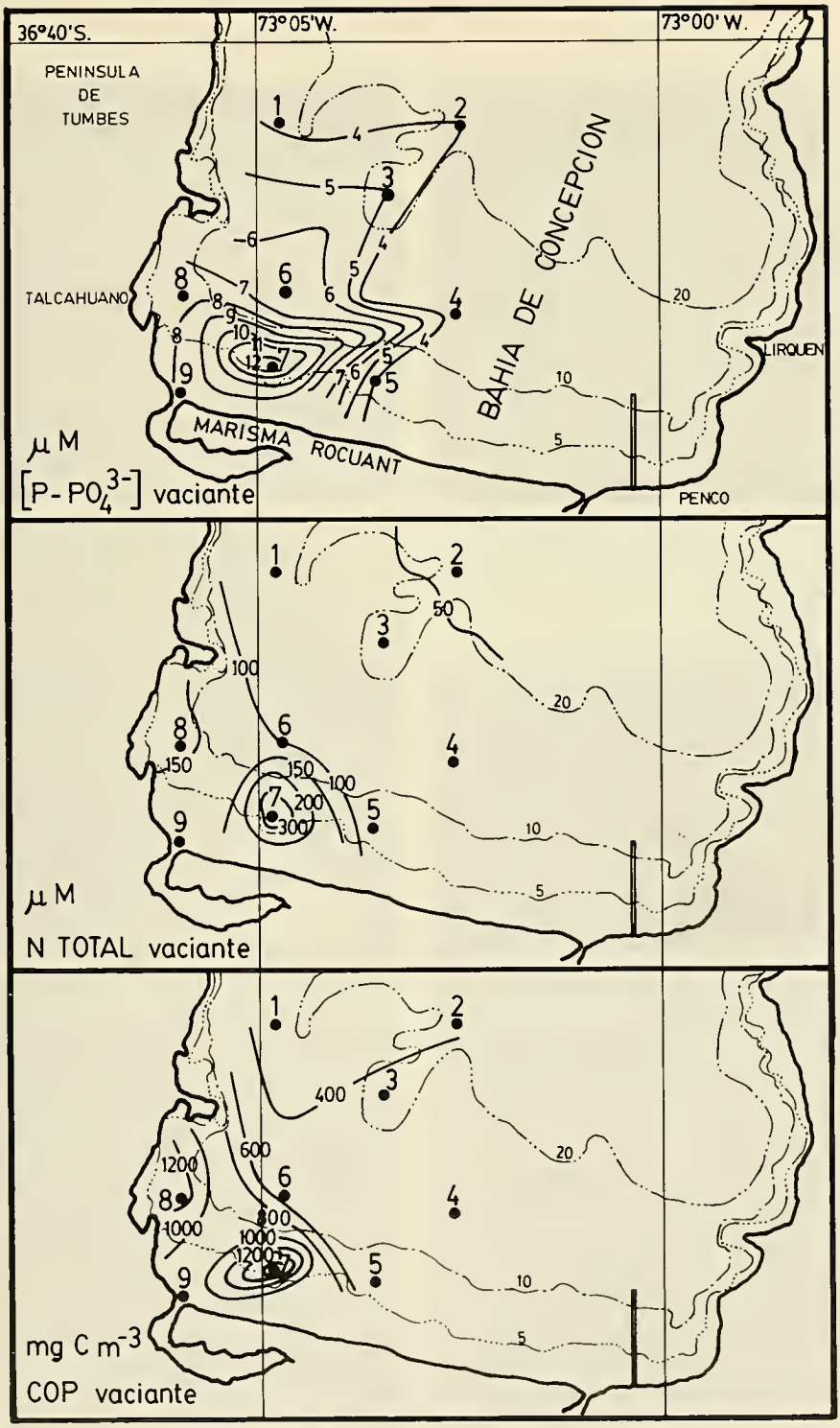
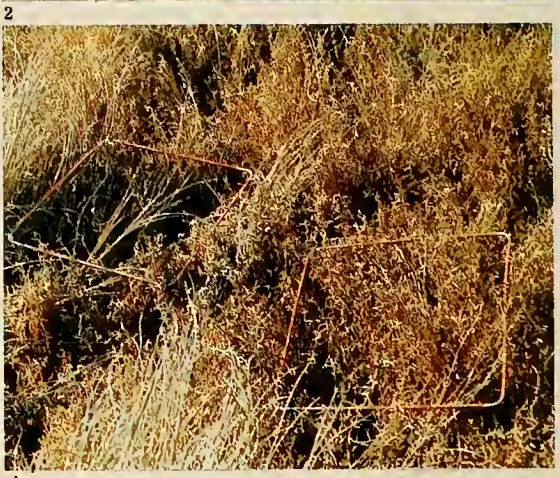



Figura 5.- Isolíneas superficiales que muestran la distribución de fosfato, Nitrógeno Total y Carbón Orgánico Particulado, en el área de la bahía adyacente a la marisma, con marea vaciante.

1

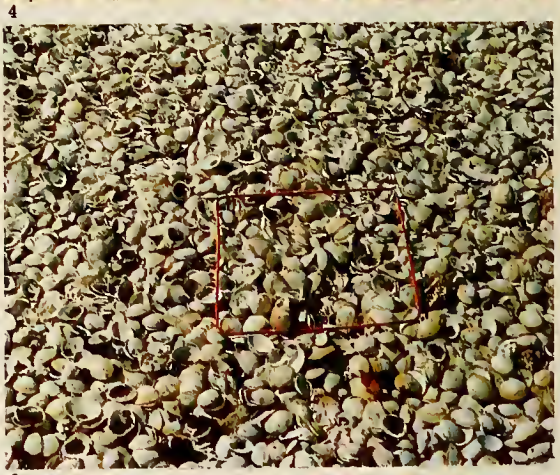
2

3



4

5



6

## Lectura de las Fotografías

Foto 1.- Vista general del sector a (Cuerpo de agua principal), mostrando la coloración del agua y el entorno de actividad industrial.

Foto 2.- Vista parcial de un canal de inundación durante marea alta, donde la coloración de las aguas fue más intensa.

Foto 3.- Vista general de la comunidad *Spartina-Salicornia*, mostrando áreas que corresponden a canales de inundación, con coloración diferente.

Foto 4.- Vista parcial de las áreas afectadas por un exceso de sedimentación de restos orgánicos. El recuadro indica 0,25 $m^2$.

Figura 5.- Vista general de la varazón y mortandad de *Mulinia edulis* en el sector adyacente a la desembocadura de la Marisma Rocuant.

Foto 6.- Vista parcial de la varazón de *Mulinia edulis*. El marco de color rojo indica un área equivalente a 0,25 $m^2$.