

BALANCE ASIMETRICO DEL CARBON ORGANICO PARTICULADO (COP), EN LA BAHIA DE CONCEPCION, CHILE. (1)

Trabajo presentado en las XI Jornadas de Ciencias del Mar, Viña del Mar, mayo 1991.

RAMON AHUMADA B.

Ramón Ahumada B.⁽²⁾: Asymmetrical balance of Particulate Organic Carbon (COP), for Concepción Bay, Chile.

The Particulate Organic Carbon (POC) budget in the coastal zone is associated with production and removal processes. The sources are related to biological production, anthropogenic and continental inputs; whereas the losses derive from sedimentation processes, grassing, dissolution, decomposition and/or advection. The zone where the budget has been estimated out is Concepcion Bay, a coastal restricted area adjacent to a seasonal upwelling front. Thus, an upwelling process supplies preformed nutrients, which are advected toward the coast, from Sub-surface Equatorial Waters (SSEW) and makes Concepcion Bay, a highly productive area. The POC generated from the primary production has been evaluated as $5.76 \text{ g C m}^{-2}\text{d}^{-1}$ equivalent to 95.75% of the total POC production, during the "upwelling period". The bacterial secondary production rate (BSP) was $0.25 \text{ g C m}^{-2}\text{d}^{-1}$ (i.e., 4.15%). Both, the anthropogenic inputs, estimated in a single spot (i.e., Rocuant salt marsh) and the continental inputs (i.e., Andalién River) are negligible (i.e., 0.08% and 0.01%, respectively). The losses are associated mainly to sedimentation flux with $3.00 \text{ g C m}^{-2}\text{d}^{-1}$ (i.e., 51 % of the POC produced). The zooplankton ingestion rate was low 2.83 and the dissolution rate was 9.97% of the POC produced. Thus, the balance of Carbon within the bay is governed by biological production, sedimentation and advection. The POC budget shows a surplus of organic matter in the water column, which is exported to the adjacent shelf waters as a result of the short residence time of the water within the bay. Since dissolved nutrient are brought into the bay by upwelling, organic carbon is produced by photosynthesis and its excedent is exported to the adjacent coastal area. From this point of view, the bay can be considered as an open system, showing an asymmetric exchange.

Key words: POC budget, Sedimentation rate, Embayments, Coastal upwelling.

1. Contribución al Proyecto FONDECYT 0374/88.

2. Laboratorio de Oceanografía, Depto. de Ciencias del Mar, Pontificia Universidad Católica de Chile, Sede Talcahuano, Casilla 127. Talcahuano.

Actual : Universidad Católica de la Sma. Concepción.

INTRODUCCION

En oceanografía han surgido dos aproximaciones para estudiar la distribución de la materia orgánica: la primera es una aproximación holística, donde el contenido de la materia orgánica puede ser representado por la masa total de materia combustible a altas temperaturas, o las cantidades equivalentes de carbono o nitrógeno, de una muestra, después de la oxidación completa de una matriz ambiental (i.e, agua, detritus, sedimentos u organismos). La segunda, es una aproximación analítica, donde el interés está centrado en estimar la concentración de compuestos orgánicos específicos o conjuntos de compuestos con grupos funcionales semejantes. Ambas, tienen un ámbito teórico distinto y son válidas en la comprensión de los procesos que ocurren en el océano.

En el contexto de la aproximación holística y de acuerdo a la forma en que se encuentra la materia orgánica, puede ser clasificada como: materia orgánica volátil (MOV), materia orgánica disuelta (MOD) y materia orgánica particulada (MOP). La materia orgánica volátil es una pequeña fracción de la materia orgánica total e incluye compuestos que se encuentran al estado gaseoso a temperatura ambiente, de bajo peso molecular, alta presión de vapor y baja solubilidad en el agua. La diferencia entre la materia orgánica particulada y disuelta es estrictamente operacional y se establece a través del tamaño de partículas. Su límite inferior, está dado por un filtro de membrana de $0.45 \mu\text{m}$ de diámetro de poro (aceptándose filtros

con abertura de poro hasta $1.2 \mu\text{m}$). La materia orgánica contenida en el agua y que pasa a través del filtro, se considera disuelta; en cambio, el material retenido por el filtro corresponde al particulado. El límite superior de tamaño establecido es de $300 \mu\text{m}$.

En ambientes oceánicos la materia orgánica disuelta corresponde al 89% del total y la materia orgánica particulada al 11%. Esta última incluye dos fracciones, los organismos vivos que corresponden a un 2% y el material particulado no vivo o detritus que hace el 9% restante (Nienhuis, 1981). La materia orgánica volátil, aún no ha sido debidamente cuantificada y se estima que su concentración es un orden de magnitud menor que el material particulado no vivo. (Mackinnon, 1981)

La producción del COP está asociada principalmente a la productividad biológica, aportes antrópicos y aportes continentales a través de los ríos. Las pérdidas responden a: procesos de sedimentación, pastoreo, disolución y/o remineralización; asociada a tasas que ocurren en el rango de horas, días o meses, lo que afecta a numerosos procesos de carácter biológico (ej.: tasa de doblaje bacteriano y/o remineralización de nutrientes). Por otra parte, procesos físicos, que permiten la acumulación y concentración de material particulado en el tiempo (giros costeros y tiempo de residencia de las aguas), tienen importancia en la disponibilidad, uso y destino del material orgánico producido. De allí la importancia de conocer los procesos vinculados a la producción de COP en un área específica y estudiar sus

tasas de pérdida y destino en la zona costera.

En el presente trabajo, se estudia la distribución espacial del carbón orgánico particulado (COP) en la Bahía de Concepción, con el propósito de obtener una aproximación holística a los procesos ecológicos costeros e intentar establecer un balance de masa de Carbón orgánico. Para ello se analizan los procesos de producción-remoción del COP, siendo el C orgánico la variable de estado para este estudio. En definitiva, un objetivo terminal es obtener información sobre el destino de la producción de esta área.

Los primeros pasos a seguir tienden a definir espacial y temporalmente la unidad de estudio, establecer los efectos de límite y tener una idea del escalamiento de procesos. De tal forma que permita, de acuerdo a los procesos sujetos a análisis, incluir las tasas de cambio mínimo, que pueden ocurrir en el sistema. La unidad discreta natural seleccionada fué la Bahía de Concepción por las características de contorno y la alta productividad observada durante el período de surgencia (Ahumada et al, 1983; Arcos y Wilson 1984; Ahumada et al., 1991).

MATERIALES Y METODOS

La Bahía de Concepción es una área restringida de 167,4 km² de superficie, una profundidad promedio de 18,5 m y un volumen aproximado de $3,09 \times 10^9$ m³ (5 % error) de agua de mar. Esta bahía se encuentra abierta al Norte, con dos puntos de contacto con las aguas exteriores: la "Boca Chica", que corresponde a un canal influenciado por

corrientes de mareas y la "Boca Grande" que corresponde a la principal área de intercambio entre la bahía y las aguas adyacentes.

VARIABLES HIDROGRAFICAS.- Se obtuvieron muestras discretas de: salinidad, temperatura, pH, oxígeno disuelto, nutrientes y pigmentos fotosintéticos en las estaciones indicadas en Fig 1. Se utilizó Salinómetro de Inducción Autolab MK III para el análisis de salinidad, sonda de termistor para la medición de temperatura, peachímetro Orion Research para la determinación de pH y el método Winkler modificado para oxígeno disuelto (Carpenter, 1967). Los compuestos de nitrógeno y fósforo fueron determinados por espectrofotometría (Strickland & Parsons, 1972; Grashoff, 1983). Se utilizó espectrofotometría (Strickland & Parson, 1972) y fluorometría para determinar Clorofila_a (Cl_a) en la columna de agua. El carbón orgánico particulado se determinó de acuerdo a Strickland & Parsons (1972).

PRODUCCION PRIMARIA.- Se estimó producción primaria midiendo el flujo de incorporación de carbón, por el método de incubaciones con ¹⁴C. Los experimentos se realizaron desde Julio a Diciembre de 1987. Se siguió el procedimiento y modificaciones al método de Lewis & Smith (1983) descrito por Pantoja et al (1987). Se incubó a bordo, muestras de diferentes profundidades obtenidas en las Ests. 5 y 6, durante 45 minutos, en frascos con 60 cc de agua de mar conteniendo 5 uCi de H¹⁴CO₃⁻. La incubación se realizó a una temperatura de 12 (+/-)2°C y en un gradiente de iluminación de 72 a 800 μE

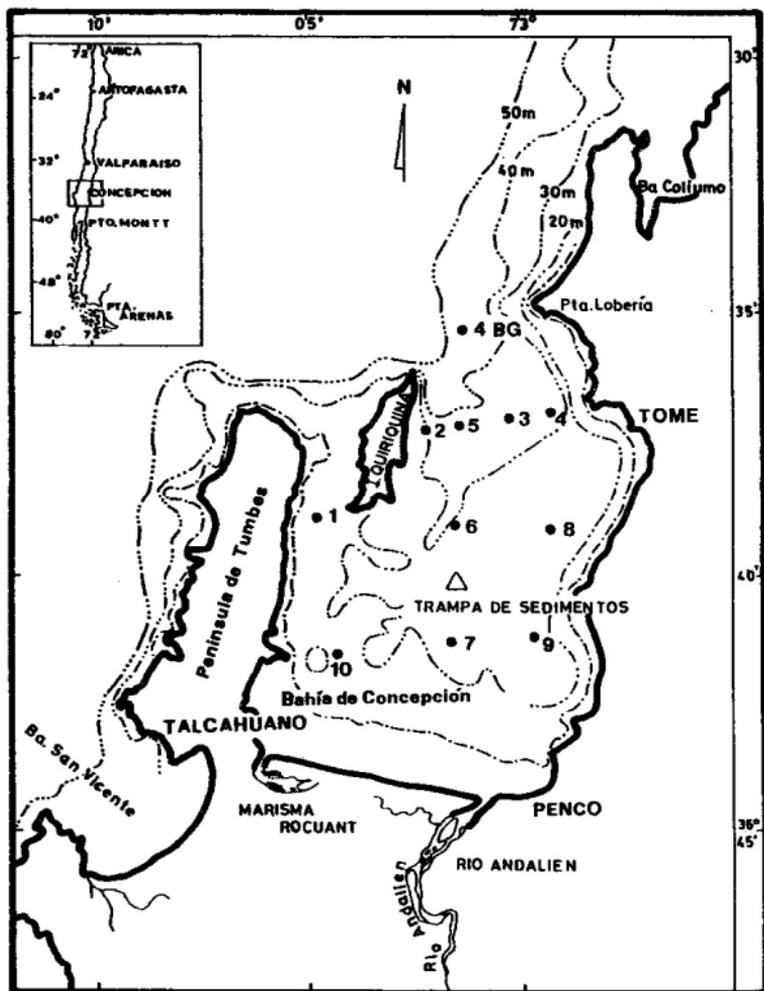


Figura 1.- Mapa de la Bahía de Concepción, indicando la posición de las estaciones hidrográficas (puntos negros) y de la Trampa de Sedimento (Triángulo).

$m^{-2}s^{-1}$ El gradiente se logró, poniendo mallas de diferentes aberturas y midiéndose la radiancia con un sensor submarino QSP 200-D Biospherical Instrument.

Para estimar el cálculo de índice fotosintético (IF), se utilizó un fluorómetro Turner Designs (Mod. 10.000R) de flujo continuo, para realizar un perfil de Cl_a y colectar muestras que fueron incubadas según el método de ^{14}C , en un gradiente discreto de iluminación. Con esta información, se obtuvo la producción estandarizada por mg de Clorofila y posteriormente se graficó el P^B versus la radiancia (Pantoja, com. pers.).

La producción bacteriana se realizó a través del recuento bacteriano de las células en división, según la técnica de fluorescencia con tinción de naranja de acridina y por el método de timidina tritiada (Furhman, & Azam. 1982).

MATERIA ORGANICA Y CARBON ORGANICO. El método de combustión a alta temperatura ($450 \pm 10^\circ C$), fué utilizado para la estimación global de la materia orgánica en sedimentos. Este método tiene el inconveniente de sobreestimar las concentraciones reales por pérdida de material inorgánico volátil durante la ignición (Byers et al, 1978; Mook and Hoskin, 1982). Para la determinación del C. orgánico, se usó el método de oxidación húmeda (Gaudette et al., 1974), donde la valoración del gasto de oxidante permite indirectamente determinar los equivalentes de carbón en la muestra. Se expresa como $\mu g C l^{-1}$ o $mg C m^{-3}$ de agua o $mg C g^{-1}$ de sedimento. Este último método, presenta una buena resolución (un 6% de

incerteza) comparando a otros más sofisticado (i.e., analizador de carbono LECO, analizador C-H-N (Byer et al., 1978).

TRAMPAS DE SEDIMENTOS.- En el diseño de colectores de sedimentos se consideró los trabajos de Lorenzen et al, (1981), Reynolds et al, (1980), Gardner (1980a, 1980b) y Staresinic et al, (1982). El diseño consideró una proporción 5:1 longitud vs diámetro, para un tubo de 24 cm de diámetro. Se trabajó con trampas fijas, fondeadas a 5 m del fondo en una columna de 26 m. Los tiempos de colecta fueron variables, con un mínimo de cuatro y un máximo de nueve días. Los colectores fueron desmontados de la trampa y sellados inmediatamente, mediante buceo autónomo (Figura 2), posteriormente refrigerados. En el laboratorio se procedió a cetrifugarlos y luego a través de una aguja hipodérmica se obtuvo muestras de agua para análisis de nutrientes en el sobrenadante.

CARBON ORGANICO EN SEDIMENTOS.- Las muestras fueron obtenidas con una draga de tipo Knudsen de $0,015 m^2$ y/o con un sacatestigo de plexiglas de 4,8 cm de diámetro interno. De la muestra se tomó 2 submuestras (cada una con su réplica) para determinar materia orgánica por ignición a $450^\circ C$ y carbón orgánico, según Gaudette et al. (1974). Del sacatestigo se obtuvo agua intersticial para la determinación de fósforo inorgánico.

CONSIDERACIONES PARA ESTABLECER EL BALANCE DE COP.- De un punto de vista experimental se trabajó en la evaluación de un modelo de producción - remoción. En el modelo se estima el

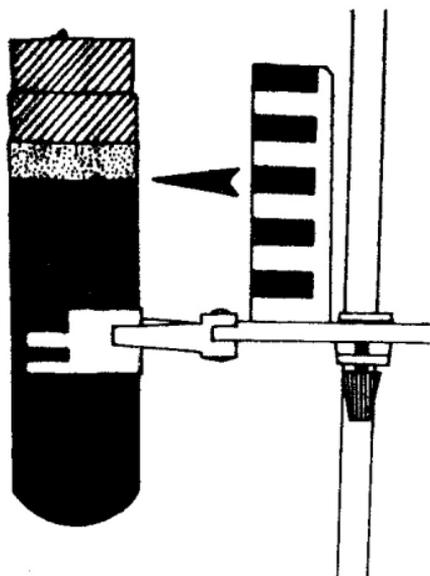


Figura 2.- Muestra un colector de la trampa de sedimento recién extraído, con sedimentos de color negro.

componente advectivo por diferencia entre las ganancias y pérdidas, a partir del balance de COP. Las fuentes del carbón orgánico son: la producción primaria, producción bacteriana a partir del Carbón Orgánico Disuelto (COD), flujo proveniente del río Andalién y los desechos orgánicos de origen antropogénicos. La remoción desde la columna de agua se produce principalmente por: sedimentación del particulado, disolución química de la materia orgánica particulada y la carga instantánea de COP.

Una primera aproximación a un balance de COP en la columna de agua está dado

^{*2} Se considera el COP de origen advectivo, que incrementa la concentración. Los procesos advectivos de pérdida se obtendrán por diferencia.

por la producción in situ, más el componente advectivo y menos el material que sedimenta y/o remineraliza:

$$COP_{(produc.)} + COP_{(advec. neta)^*2} = COP_{(sediment)} + COP_{(remneraliz)} (1)$$

De acuerdo a esto es posible separar procesos que son de ganancia (producción COP) y procesos de pérdida de COP desde la columna de agua.

GANANCIA:

$COP_{(PP)}$ = Producción Primaria

$COP_{(PB)}$ = Producción Bacteriana

$COP_{(CAe)}$ = Componentes Advectivo^{*2}

$COP_{(OA)}$ = Aportes Antropogénicos.

$COP_{(AC)}$ = Aporte continental.

PERDIDAS:

$COP_{(Past)}$ = Pastoreo

$COP_{(R)}$ = Flujo de Remineralización

$COP_{(CAe)}$ = Componentes Advectivo^{*2}

$COP_{(sed)}$ = Flujo de Sedimentación

Así en términos generales el balance debe considerar:

$$COP_{(pp)} + COP_{(PB)} + COP_{(OA)} + COP_{(AC)} + COP_{(CAe)^*2} = COP_{(Sed)} + COP_{(R)} + COP_{(Past)} (2)$$

El cálculo se desarrolló según la siguiente secuencia.

ENTRADAS:

Se evaluó el aporte de COP en base producción primaria ($COP_{(pp)}$), utilizando el IF calculado para la bahía en diciembre y julio de 1987.

$$IF \text{ [mg C mgCl}_2^{-1}\text{h}^{-1}\text{]}\times\text{[mgCl}_a\text{(m}^{-2}\text{) x horas insolación d}^{-1}\text{]}=\text{COP [mgCm}^{-2}\text{d}^{-1}\text{]}$$

Luego se puede obtener un inventario global:

$$\text{COP [mg C m}^{-2}\text{ d}^{-1}\text{]}\times\text{Area bahía (m}^2\text{) = COP}_{pp}\text{ (Bahía) [mg C d}^{-1}\text{]},$$

este valor debe ser ponderado estacionalmente si se desea obtener el inventario global anual de COP producido por producción primaria.

En el caso de la producción bacteriana (COP_(PB)) los cálculos fueron:

$$\text{PB [mg C m}^{-2}\text{d]}\times\text{Area bahía [m}^2\text{]}=\text{COP}_{(PB)}\text{P[mg C bahía d}^{-1}\text{]}$$

Para los desechos de origen antrópico, se evaluó la principal fuente puntual de particulado, la Marisma Rocuant, y se calculó la exportación de COP a la bahía de la siguiente manera:

$$\text{Exced. Marisma [mg C m}^{-3}\text{]}\times\text{Flujo medio marisma}\times 2\text{ mareas} = \text{COP}_{(OA)}\text{ [mgCd}^{-1}\text{]}$$

El excedente de la marisma se calculó en base a las diferencias de concentraciones promedio entre la bahía y la marisma

El aporte continental (COP(AC)) fue evaluado con mediciones de COP en el Río Andalién y el caudal promedio tomado para 15 años de información (Depto. de Aguas, Ministerio de Obras Públicas).

PERDIDAS:

Las pérdidas hacia el fondo fueron estimadas de trampas de sedimentos y expresadas como flujo de sedimentación. El valor resulta de la concentración de carbono orgánico atrapado por el área de la trampa y del tiempo de fondeo (Tsed. = [mg C m⁻²d⁻¹]). Para el inventario global se consideró un área equivalente al 80% de la superficie de la bahía que corresponde al área de sedimentación (cubierta por sedimentos reductores).

Las pérdidas por disolución o remineralización del COP, se estimaron a partir de la producción de fosfatos en los colectores de la trampa de sedimentos y para la conversión a carbono se utilizó las relaciones de Redfield, C:P= 106: 1 (Redfield et al, 1963). La producción de Fosfatos se estimó de acuerdo a la diferencia de concentración de fosfato en el agua intersticial de los sedimentos de fondo y la concentración del agua de los colectores de la trampa, corrigiendo el valor por la concentración del agua de mar durante el período de fondeo de la trampa.

La tasa de ingestión o pastoreo de los copépodos se calculó a partir de las tasas de ingestión promedio para *Calanus chilensis* y *C. braquiatus* obtenidas para la zona por Dam (Peterson et al, 1987). Estos valores, expresados en ng Cl_a hembra h⁻¹, fueron convertidos en una tasa de ingestión diaria a través de una curva de regresión C vs Cl_a para la bahía. Posteriormente, los valores fueron llevados a peso, mediante la ecuación de Isaacs et al, (1979):

Peso húmedo = $2,1399 \times \text{Log } L_x^{0,38224}$
 donde: L_x = Longitud media.

Finalmente se estimó el equivalente de carbón consumido por día por el promedio de biomasa de copépodos, referido al valor integrado en la columna de agua.

La carga o "standing stock" de COP en la columna de agua se estimó como valores integrados a partir de muestras obtenidas en profundidades discretas.

RESULTADOS

REGIMEN HIDROGRAFICO DE LA BAHIA DE CONCEPCION.

La Bahía de Concepción, en el período de surgencia presenta una fuerte estratificación vertical. La presencia de dos capas, puede ser detectada en todas las variables medidas. Esto permitió analizar la información separando la capa superficial, de la capa de fondo. La delimitación se realizó utilizando el gradiente de densidad, usando la superficie de sigma-t de 26,5 como indicador de la capa de fondo (Tabla 1). Durante el período de muestreo, se observó perfiles de oxígeno típicos, de una estructura de dos capas, con valores de saturación o sobresaturación cerca de la superficie y condiciones de suboxia (i.e., $< 1.0 \text{ ml O}_2 \text{ l}^{-1}$), cercano al fondo. La profundidad de la oxiclina se ubica entre los 10 y 15 m de profundidad es coincidente con la picnoclina (Figura 3). Su profundidad depende de la intensidad de la surgencia y la intensidad del viento en la bahía. El pH del agua de mar, sigue la tendencia de los perfiles de oxígeno debido a la alteración del

equilibrio del CO_2 por la actividad biológica (fotosíntesis- heterotrofia). En superficie el pH presenta valores de 8,4 con una disminución de casi 0,8 unidades en las aguas cercanas al fondo (i.e., pH= 7,6). La concentración de nutrientes entre la capa superficial y la de fondo pueden llegar a tener hasta dos órdenes de magnitud de diferencia, siendo mayor en la capa de fondo (ej.: nitratos de 0,8 a $24,4 \mu\text{m}$; nitritos y iones amonio de 0,08 a $3,5 \mu\text{m}$ y 0,06 a $5,0 \mu\text{m}$, respectivamente). En el caso de los fosfatos y silicatos se produce una diferencia de un orden de magnitud (ej.: de 0,3 a $3,1 \mu\text{m}$ para los fosfatos y de 6,2 a $26,8 \mu\text{m}$ los silicatos). El COP al interior de la bahía presenta una concentración mínima de 30 mg C m^{-3} y una concentración máxima de $3.510 \text{ mg C m}^{-3}$. El valor promedio de COP para la columna de agua fue estimado en $606,23 \text{ mg C m}^{-3}$. Su distribución vertical se caracteriza por altas concentraciones en la capa superficial con un promedio de $850,96 \text{ mg C m}^{-3}$ y un gradiente que disminuye con la profundidad. La capa de fondo tiene un promedio de material particulado de $363,51 \text{ mg C m}^{-3}$.

La biomasa de fitoplancton se midió a través de la concentración de Clorofila_a (Cl_a), éste parámetro para su análisis fue integrada en la mayor parte de las estaciones. En la estación 4 se obtuvo $467 \text{ mg Cl}_a \text{ m}^{-2}$ en 40 m y $282 \text{ mg Cl}_a \text{ m}^{-2}$, en los primeros 18 m de profundidad. El promedio ponderado para Cl_a en la bahía fué calculado en $8,95 \text{ mg Cl}_a \text{ m}^{-3}$.

La productividad primaria estimada para el período de verano fue de $362,2 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, lo que indica una importante fijación de carbono a través de la fotosíntesis. El índice Fotosintético

estimado experimentalmente para el verano fue de 3,5 mg C mg Cl a h⁻¹. La producción primaria integrada, estimada para la columna de agua, fue de 4,35 g C m⁻² d⁻¹, con valores experimentales máximos que alcanzaron 22,8 mg C m⁻³ h⁻¹.

Los resultados obtenidos de las trampas muestran un flujo promedio de sedimentación de 41,5 g m⁻²d⁻¹ (sedimento húmedo), con un peso seco promedio de 3,0 (+/-0,88)g C m⁻².d⁻¹

TABLA 1.- Parámetros ambientales que definen el Período de surgencia de las AEES, en la Bahía de Concepción. Se considera dos estratos definidos por la isopícnica de sigma -t = 26.5

Variables	Promedios		Unidades	Comentarios
	C. Superf.	C.Fondo		
ESPESOR	0-10	<12	m	Estratos más frecuentes.
SALINIDAD	34-50	34,60		Columna homogénea.
TEMPERAT.	13,60	11,1	°C	Valor máximo de 16.5°C en Diciembre (Superficie).
DENSIDAD	1026,3	1026,7	g dm ⁻³	La mayor estratificación se logra en otoño por dilución superficial.
OXIGENO DIS.	6,4	<1,0	ml l ⁻¹	En la capa superficial son comunes los valores sobresaturados.
pH	8,4	7,6	-log[H ⁺]	Valores > 8,6 en la capa superficial están asociados a los máximos de biomasa del fitoplancton.
NITRATOS	0,2	24,4	μmol l ⁻¹	Nutriente limitante del crecimiento del fitoplancton.
NITRITOS	0,5	3,5	μmol l ⁻¹	Aumentan su concentración hacia la cabeza de la bahía.
AMONIO exceden	0,3	5,0	μmol l ⁻¹	Valores máximos los 50 μmol l ⁻¹ en el área adyacente a la Marisma
FOSFATO de a	0,5	2,9	μmol l ⁻¹	Valores máximos 5 μmol ⁻¹ en áreas adyacentes la Marisma Rocuant
SILICATOS	2,0	26,8	μmol l ⁻¹	
COP	898,96	363,51	mg m ⁻³	Máximo 3.510,9 mg m ⁻³ , valor promedio para la columna de 630,5 mg m ⁻³ .

Tabla 2.- Flujos de Sedimentación, estimadas a partir del material colectado en las Trampas de Sedimentos y análisis químico correspondiente.

Fecha de Muestreo	días de FONDEO	Sedimento Seco(g)	Carbono org. %	Materia org %	Carbono $g\ m^{-2}d^{-1}$
19 Nov 87	6	10,283	10,03	35,33	3,82
17 Dic 87	5	9,3294	9,02	35,62	3,74
22 Ene 88*	35	18,7202	7,23	33,68	0,86
10 Dic 88	4	7,3281	8,65	34,40	3,52
26 Dic 88	9	7,4514	8,76	34,87	1,61
30 Ene 89	4	5,5305	7,54	34,15	2,32

* Pérdida de boya superficial. Valores no considerados en el promedio.

El material colectado en las trampas estuvo compuesto principalmente por fitodetritus y fecas. En dos ocasiones se separó las fecas en el material sedimentado, correspondiente éstas a un 15,5% v/v del material colectado. De acuerdo a la forma de las fecas colectadas en las trampas fue posible clasificarlas en: esféricas, ovaladas y tubulares (Figura 4). Los tamaños promedio ($n = 30$) fueron los siguientes: i) las formas esféricas 1,5 mm diámetro; ii) las formas ovaladas 2,3 mm de largo x 16 mm de diámetro; y iii) las formas tubulares 3,0 mm longitud x 1,0 mm diámetro. La velocidad de sedimentación es dependiente del tamaño y forma de las fecas, fué estimada entre 0,53 y 0,85 $m\ min^{-1}$, en agua de mar en reposo. La presencia de pigmentos observados en los sedimentos, se debería a la baja profundidad de la bahía y la acción del pastoreo por el zooplancton, i.e. copéodos principalmente, que compactan en sus fecas células de fitoplancton parcialmente digerido, aumentando su velocidad de sedimentación, y disminuyendo el tiempo de oxidación en el paso por la columna de agua (Yentsch,

1965).

El aporte de COP de origen antrópico ($COP_{(OA)}$) proviene principalmente de la contaminación de las aguas provocada por la industria pesquera de reducción (fabricación de harina, conservas y congelados de pescado). La mayor fuente puntual COP es la Marisma Rocuant, donde evacuaban sus residuos nueve industrias pesqueras. Los desechos orgánicos posteriormente ingresan a la Bahía de Concepción. El aporte de $COP_{(OA)}$ se calculó, a partir del flujo mareal y de mediciones realizadas en este cuerpo de agua (Rudolph & Ahumada, 1987). El aporte estandarizado y recalculado para la Marisma Rocuant fué $4,94\ mg\ C\ m^{-2}d^{-1}$

El aporte continental ($COP_{(AC)}$) se realiza a través del Río Andalién, un pequeño río que se origina en un máximo pluviométrico ubicado en la cordillera de la costa. Durante el periodo de primavera verano se producen los caudales mínimos, debido a su dependencia de la pluviosidad. El caudal promedio para el periodo estacional (Octubre a Marzo) fue

de $4,6 \text{ m}^{-3} \text{ s}^{-1}$, equivalente de $397.440 \text{ m}^{-3} \text{ d}^{-1}$. La concentración promedio de COP medida en el período fue de 380 mgCm^{-3} . Por tanto la carga diaria de COP entregada por el río Andalién fue

de $1,51 \times 10^5 \text{ g d}^{-1}$. Este aporte, expresado como inventario global corresponde a $0,87 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ en la Bahía de Concepción.

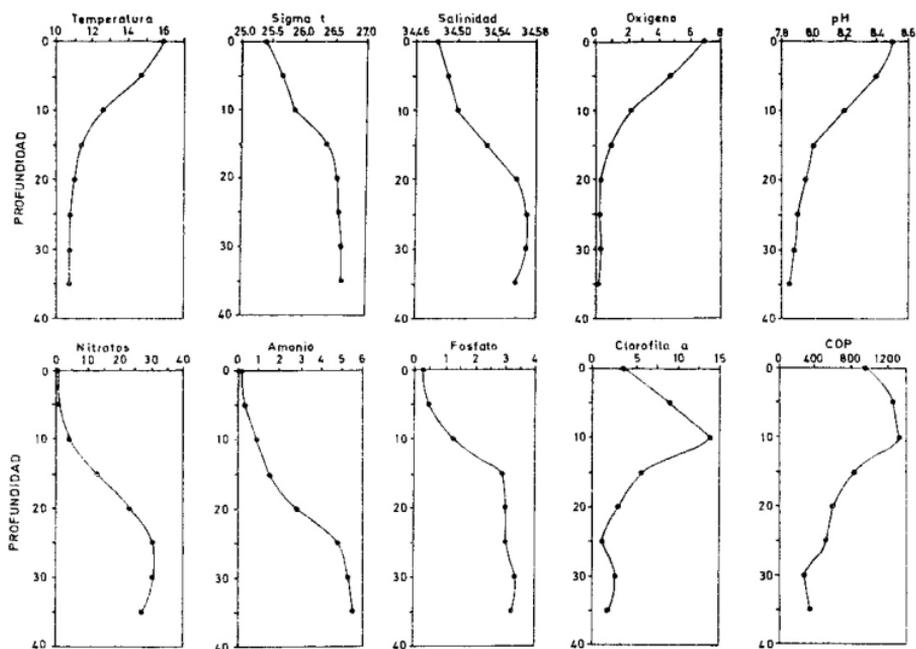


Figura 3.- Distribución vertical de variables medidas en la Estación 5(35 m de profundidad), en la Bahía de Concepción. Nótese el patrón de estratificación que se observa en todos los gráficos.

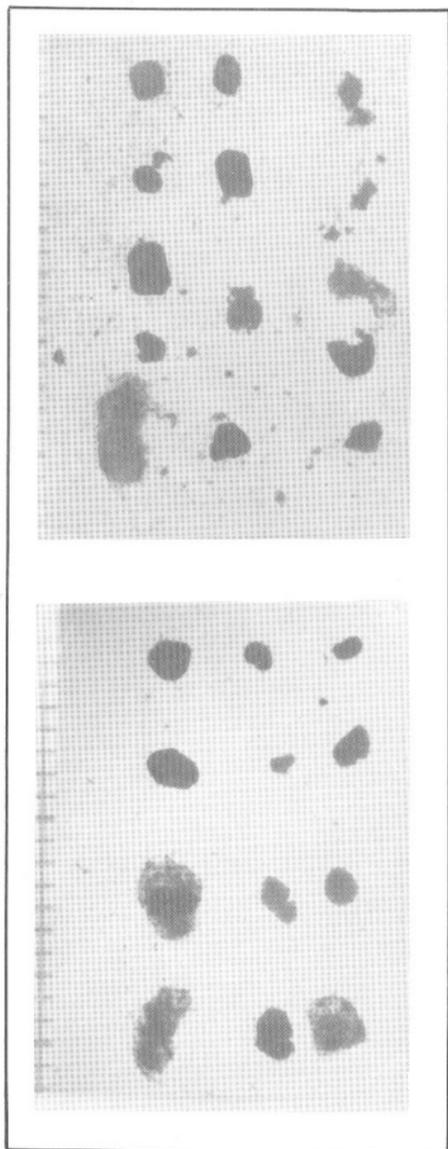


Figura 4.- Microfotografías de forma de las fecas obtenidas en los colectores de sedimento.

DISCUSION

BALANCE DE COP EN LA BAHIA.- La unidad discreta natural para el balance de COP fue la Bahía de Concepción, donde los procesos que determinan las tasas de cambio son del orden de horas (tiempo de doblaje de células), días (tiempo de residencia de las aguas, eventos de surgencia) o meses (estacionalidad). Por otra parte el enfoque y resolución del problema se puede plantear como: a) un balance de COP, a través de los procesos de producción - remoción en la columna de agua; b) la validación del modelo a través de un inventario global a partir del balance de la columna de agua; o c) basado en el intercambio de carga de COP a través de las bocas. En el caso de esta presentación se ha elegido las alternativas a) y b), en consideración al comportamiento hidrográfico general de la bahía y siguiendo el modelo producción - remoción.

La variable de estado en el balance fue el carbono orgánico particulado, el que fue cuantificado a través de un diseño de diversos experimentos, que permitieron estimar los aportes y pérdidas producidas por los diversos procesos que ocurren en la Bahía (según la Ecuación 2).

Un primer proceso estimado fue la producción de COP a partir de la fotosíntesis. Para ello se utilizó el índice fotosintético, en vez del valor obtenido de productividad primaria, debido a que el índice fotosintético relaciona la producción de carbono con la biomasa pigmentaria, variable para la cual existía un importante respaldo de información

para la cual existía un importante respaldo de información para la bahía. En cambio, la información que entrega la incorporación de carbono por fotosíntesis, resulta un valor que se estima como representativo de la columna de agua. Los valores de producción primaria, por incorporación de ^{14}C , son mayores que los publicados (Pantoja et al, 1987) pero menores que los medidos por Peterson et al (1988), en la zona exterior de la bahía. El índice fotosintético estimado en el presente estudio fue de $3,5 \text{ mg C mg Cl}_a^{-1} \text{ h}^{-1}$, igual al promedio obtenido por Peterson et al, (op cit), pero menor que el estimado por Pantoja et al, 1987, para la bahía (i.e, $3,85 \text{ mg C mg Cl}_a^{-1} \text{ h}^{-1}$). La estimación de carbono orgánico producido por la fijación de carbono por fotosíntesis (COP_(pp)) consideró el índice fotosintético ($3,5 \text{ mg C (mg Cl}_a)^{-1} \text{ h}^{-1}$), la biomasa pigmentaria promedio ($7,62 \text{ (mg Cl}_a) \text{ m}^{-3}$), las horas luz (12 h) y la profundidad promedio de la bahía (18 m). La tasa de producción para la bahía, durante el periodo de surgencia fue de $5,76 \text{ g C m}^{-2}$ por día.

A partir de la década del 70, se ha considerado a las bacterias en el océano como un componente importante dentro de los ecosistemas (Azam et al, 1983).

Actualmente no solo se reconoce la importancia del componente bacterial dentro de los ecosistemas costeros en su rol de remineralización, sino que también por su rol en la formación de micropartículas de material orgánico (Biddanda, 1985).

La producción bacteriana para la bahía fué estimada en $0,63 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Pantoja et al, 1989). Su importancia como componente del COP ha sido descrita recientemente y se estima que aproximadamente el 40% de la producción se incorpora al COP. Es decir el aporte del bacterioplancton es de $0,25 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

El aporte de COP entregado por la Marisma Rocuant a la Bahía de Concepción fué $4,94 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ y representa el término COP_(OA).

La carga promedio de COP estimada para el periodo fue de 380 mg C m^{-3} , lo que indicaría un flujo de $1,51 \times 10^{-5} \text{ g d}^{-1}$. El aporte de COP del Río Andalién fue estimado en $0,87 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

Esto significa que en el balance diario las entradas estarían dadas de la siguiente manera:

Producción Primaria aporta	5,76	$\text{g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$	95,75%
Producción Bacteriana aporta	0,25	$\text{g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$	4,15%
Marisma Rocuant aporta	0,005	$\text{g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$	0,08%
Río Andalien aporta	0,00087	$\text{g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$	0,01%
Total COP Bahía	6,016	$\text{g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$	99,99%

Las salidas de COP del sistema se producirían por: pastoreo, el que fue estimado en $0,17 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, y equivalente a un 2,83% de la producción de COP. La principal pérdida de COP se produce por sedimentación, para estimar este proceso se obtuvo el promedio del contenido de carbono orgánico colectado en trampas de sedimentos. El flujo de sedimentación se calculó como:

$$T_{\text{sed}} = [M_{\text{sed}} (\text{mg Sed. seco})] / \text{Area de trampa} (\text{m}^2) * [\text{Tiempo de fondeo}(\text{d})]$$

$$\text{COP}_{(\text{sed})} = 3,00 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1} \text{ (supone una eficiencia de un 100\%)}$$

La Flujo de sedimentación de 3,00 g C

$\text{m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, equivale al 52,08% de la producción de COP, por producción primaria. análisis cuantitativos en los sedimentos colectados de la trampa y realizados en 1990, indicaron que el 15,5% de la muestra correspondió a fecas.

El $\text{COP}_{(\text{R})}$ perdido por remineralización fue estimado por diferencias entre el fosfato producido por el material recolectado de la trampa y el contenido de fosfato de la columna de agua. El valor estimado para la remineralización fue de $605,4 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

De tal manera que las salidas pueden resumirse como:

Salidas:

Sedimentación del COP	3,00	$\text{g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$	49,86%
Pastoreo	0,17	$\text{g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$	2,83%
Remineralización de la MOP	0,60	$\text{g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$	9,97%
Total pérdidas	3,77	$\text{g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$	62,67%

Esto lleva a que el balance de la columna de agua se establece como:

Entradas	-	Pérdidas =	Carga excedente
6,02	-	3,43 =	2,59 $\text{g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$

La carga excedente contenida en la columna de agua para la Bahía de Concepción tiene un componente advectivo que no ha sido estimado en el presente ejercicio, y que estaría determinado por el tiempo de residencia de las aguas de la bahía, que según Mesías & Salinas (1986) es de 3,2 días. De esta forma el componente advectivo

incorporado al balance estaría comprendido en la siguiente ecuación.

$$\text{COP}_{(\text{PP})} + \text{COP}_{(\text{CAe})} - \text{COP}_{(\text{Past})} = \text{COP}_{(\text{Sed})} + \text{COP}_{(\text{R})} \quad (3)$$

de acuerdo a esto, el componente advectivo se puede resolver por diferencia, es decir:

$$\text{COP}_{(C \text{ Ad})} = \text{COP}_{(pp)} - [\text{COP}_{(Past)} + \text{COP}_{(sed)} + (\text{COP}_{(R)})] \quad (4)$$

Por tanto el valor de excedente diario correspondería a aproximadamente 1/3,2 veces, la cantidad de COP aportado por la Bahía de Concepción hacia las aguas adyacentes.

Si se lleva el valor excedente de la columna, a un inventario global, basado en las características de estratificación y homogeneidad de distribución de la clorofila, producida por el tratamiento de la información (promedio ponderado de la columna de agua), la bahía estaría aportando con 432,5 ton de Cla día, equivalente a 20,666 ton C día. Estas cifras constituyen una importante evidencia a la hipótesis del subsidio de materia a la costa adyacente (Ahumada, 1989).

En éste sentido y a la luz de la hipótesis de outwelling de Odum (1980), que enfatiza la exportación de materia orgánica desde estuarios productivos (salt marshes); y la hipótesis de Walsh et al (1981; 1988), sobre la exportación de una fracción de la producción primaria, generada en la plataforma continental, hacia las cuencas oceánicas; es que surge la interrogante del destino de la producción en una zona costera de tamaño intermedio, como lo es la Bahía de Concepción.

Rowe et al, (1988), y Falkowki et al, (1988), prueban que la mayor parte de la producción primaria generada en la plataforma continental es remineralizada y consumida antes de salir del sistema y por tanto, rechazan la hipótesis de la exportación de Walsh. Sin embargo, la

evidencia entregada en este trabajo parecería afirmar que: el tamaño de los sistemas y sus dinámicas específicas, son un elemento importante a considerar en la hipótesis de los subsidios de materia y energía en los sistemas costeros. Por otra parte, el diseño de un modelo trófico realizado para la bahía con la misma información pero utilizando diferentes métodos de aproximación al problema entrega valores de excedentes del mismo orden de magnitud (Bernal et al, 1989).

Los componentes biológicos son responsables del 99,9% del COP producido en la bahía. Sorprendentemente el aporte antrópico y continental no tienen un rol importante en la producción de COP en esta bahía.

Los resultados obtenidos indican que las fuentes principales de COP para la Bahía de Concepción son la producción primaria con un 95,75% y la producción bacteriana con 4,15%. La principal fuente antrópica que es la Marisma Rocuant, ubicada en la cabeza de la bahía, la que tiene una contribución pequeña i.e., 0,08% de COP y el aporte continental es de solo 0,01%.

Lo más importante del balance del COP para la columna de agua, es que simplifica notablemente los términos involucrados en él y hace dependiente exclusivamente la producción de COP componente biológico natural.

CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas en el presente trabajo son las siguientes:

1.- El modelo de producción - remoción

para el carbono orgánico particulado propuesto para la columna de agua en la Bahía de Concepción, produce un excedente positivo.

2.- El modelo está gobernado por la producción biológica durante el periodo de surgencia (i.e., producción primaria y producción bacteriana secundaria).

3.- Los aportes de origen antrópico y continental no tienen importancia en el modelo, en relación a la contribución hecha por la producción biológica.

4.- Los resumideros son la sedimentación en periodos cortos de tiempo (i.e., $8,77 \cdot 10^{-3}$) y la remineralización de la materia orgánica en periodos de tiempo anual (i.e., 0,57 años). El pastoreo no tiene una importancia decisiva en las pérdidas.

5.- Por la importancia de la remineralización de la materia orgánica y el tiempo de residencia de ella, se puede

pensar que una parte importante de la materia sedimentada en el periodo de surgencia es remineralizada en invierno, constituyendo así una fuente importante de nutrientes de origen oxidativo.

6.- Uno de los aspectos importantes que debe ser estudiado, son los equilibrios transcientes para la bahía, incorporando el concepto de balance de carbono a periodos cortos de tiempo (i.e., 3,2 días, tiempo de residencia de las aguas en la bahía (Mesías & Salinas, 1986)) y/o a periodos de mayor duración (i.e., 5 a 8 días, duración de un evento de surgencia).

7.- Si bien el trabajo no resuelve el componente advectivo del sistema; el periodo de residencia de las aguas calculado para la bahía y la carga de Carbón orgánico excedente estimada para la columna de agua, define el aporte de COP, que la bahía entrega a la zona costera adyacente.

AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos a Silvio Pantoja (actualmente en el Marine Science Research Center, SUNY, USA), Humberto González (actualmente en Institut Fur Polar und Meeresforschung, Bremenhaven, RFA), Patricio Bernal y Jorge Osses (actualmente en Instituto de Fomento Pesquero), y Anny Rudolph por los aportes realizados a través de la discusión y/o obtención de parte de la información presentada. Finalmente quisiera agradecer a los árbitros anónimos por sus acertadas indicaciones. Este trabajo es parte de las investigaciones desarrolladas por el proyecto FONDECYT 0374/88.

BIBLIOGRAFIA

- Ahumada R. A. Rudolph & V. Martinez. 1983. Circulation and fertility of Concepción Bay. Est. Coast. and Shelf Sci. 16: 95-105.
- Ahumada R. 1989. Producción y destino de la biomasa fitoplanctónica en un sistema de bahías en Chile Central: una hipótesis. Biología Pesquera, 18:53-65.

- Ahumada R., P. Matrai & N. Silva. 1991. Phytoplankton biomass distribution and relationship to nutrient enrichment during an upwelling event off Concepción Bay, Chile. *Bol. Soc. Biol. Concepción, Chile. Tomo 62*: 1-12.
- Arcos D.F. & R.E. Wilson. 1984. Upwelling and the distribution of Chlorophyll-a within the Bay of Concepción, Chile. *Est. Coast. and Shelf Sci.* **18** 25-35.
- Azam F., T. Fenchel, J.G. Field, J.S. Gray, L.A. Meyer-Reil & F.Tingstad 1983. The ecological role of water-column microbes in the sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **10**
- Bernal P., R. Ahumada, H. González. S. Pantoja y A. Troncoso. 1989. Flujo de energía en un modelo trófico en Bahía de Concepción. *Biología Pesquera*, **18**:4-13.
- Biddanda A.B. 1985. Microbial synthesis of macroparticulate matter. *Mar Ecol. Progr. Ser.*, **20**:241-251.
- Byers Sch., C.E.L. Mills & P.L. Steward. 1978. A comparison of methods of determining organic carbon in marine sediments, with suggestion for a standard method. *Hidrobiologia* **58**(1):43 - 47
- Carpenter J. L. 1967. The Chesapeake Bay technique for the Winkler dissolved oxygen method. *Limnol. and Oceanog.*, **10** 141 -144.
- Falkowski P.G., C.N. Flagg. G. Rowe, S.L. Smith, T.E. Whitledge & C.D. Wirick. 1988. The fate of spring phytoplankton bloom: export or oxidation? *Continental Shelf Research*, **8**(5-7):457-484.
- Furhman, J.A & F. Azam. 1982. Thymidine incorporation as a measure of heterotrophic bacterioplankton production in marine surface waters: Evaluation an field results. *Mar. Biol.*, **66**: 109-120.
- Gaudette H.F. and W.R. Fligght. 1974. An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. *Jour. Sed. Petrology* **44**(1):249-253.
- Grashoff K. 1983. *Method of sea water analysis*. 2nd Edition. Verlag Chemie 419 pp.
- Gardner W.D. 1980a. Sediment trap dynamics and calibration: a laboratory evaluation. *J. Mar. Res.*, **38**: 17-39.
- Gardner W.D. 1980b. Field assesment of sediment traps. *J. Mar. Res.*, **38** 41-52.
- Isaacs J.B. A. Fleminger & J.K. Miller. 1979. Distributional atlas of zooplankton biomass in the California Current Regional: Spring and fall 1955-1959. *Calcofi Atlas* **10**:252 pp.

- Lewis, M.R. & J.C. Smith 1983. A small volume, short-incubation- time method for measurement of photosynthesis as a function of incident irradiance. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **13**: 99-102.
- Lorenzen C.J., F.R. Shuman & J.T. Bennett. 1981. In situ calibration of a sediment trap. *Limnol. Oceanogr.* **26**(3): 580- 585.
- Mackinnon M.D. 1981. The measurement of organic carbon in seawater Pages: 415-444. In: Duursma E.K. & R. Dawson (Eds), *Marine Organic Chemistry*. Elsevier Oceanography Series.
- Mook D. and CH. Hoskin 1982. Organic determination by ignition: caution advised. *Estuarine, Coastal and Schelf Science*, **15**: 697-699.
- Mesías J. y S. Salinas. 1986. Corrientes en la Bahía de Concepción, Chile *Biología Pesquera*, **15**:55-62
- Nienhuis P.H. 1981. Distribution of organic matter in living marine organism Pages: 31-69. In: Duursma E.K. & R. Dawson (Eds), *Marine Organic Chemistry*. Elsevier Oceanography Series.
- Odum E. 1980. The Status of three ecosystem level hypotheses regarding salt marsh estuaries: tidal subsidy, outwaelling, and detritus based food chains pages 485-495. In: V. Kennedy (Ed), *Estuarine Hypotheses*. Academic Press.
- Pantoja, S, H. González & P. A. Bernal. 1987 Size-fractioned photoautotrophic production in a Shallow bay. *Biol. Pesq.* **16**: 99-105.
- Pantoja S., H. González & P. Bernal. 1989. Bacterial biomass and production in a Shallow bay. *J. Plank. Res.* **11**(3):599-604.
- Peterson W.T., D. Arcos, G.B. McManus, H. Dam, D. Bellantoni, T. Johnson & p. Tiselius. 1987. Coastal upwelling off central Chile: a 25-days time series of physical, chemical and biological measurement in January 1986. Research Project Report to U.S. Latin American Program of the National Science Foundation. Departamento de Oceanología. Universidad de Concepción. 79 pp.
- Peterson W.T., D. Arcos, G.B. McManus, H. Dam, D. Bellantoni, T. Johnson & p. Tiselius 1988. The nearshore zone during coastal upwelling: daily variability and coupling between primary and secondary production off central Chile. *Prog. Oceanogr.*, **20**: 1-40.
- Redfield, A.C., B.H.Ketchum & F.A. Richard. 1963. The influence of organisms on the composition of seawater. Pages: 26-77. In: J.P. Riley and G. Skirrow (Eds), *Chemical Oceanography*. V. 1 Academic Press, London.

- Reynolds C.S. S.W. Wiseman & W.D. Gardner 1980. Aquatic sediment trap and trapping methods. *Freshwater biological Association, Occasional Publication 11* : 1-54.
- Rowe G.T., R. Theroux, W. Phoel, H. Quinby, R. Wilke, D. Koschorsk, T.E. Whitledge, P.G. Falkowski & C. Fray. 1988. Benthic carbon budget for the continental shelf south of New England Continental shelf Research, 8(5-7): 511-527.
- 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. Tomo 58*: 151-169.
- Staresinic N., K. von Brockel, N. Smodlaka & C.H. Clifford. 1982. A comparison of moored and free drifting sediment traps of two different designs. *Journal of Marine Research*, 40(1):273- 292.
- Strickland J.D. & T.R. Parsons 1972. A Practical Handbook of Seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Canada*. 167:1-310
- Walsh J.J. G.T. Rowe, R.L. Iverson & C.P. McRoy. 1981. Biological export of shelf is a neglected sink of the global CO₂ cycle. *Nature*, 291:196-201.
- Walsh J.J., C.D. Wirick, L.J. Pietrafesa, T.E. Whitledge, F.E. Hoge & R.N. Swift. 1988. High-frequency sampling of the 1984 spring bloom within the Mid-Atlantic Bight: synoptic shipboard, aircraft, and in situ perspectives of the SEEP-I experiment. *Continental shelf Research*, 8(5-7):529-563.
- Yentsch C.S. 1965. Distribution of chlorophyll and phaeophytin in the open ocean. *Deep-Sea Research*, 12:653-666.