



Seguimiento a la Influencia de la marea, condiciones meteorológicas y factores antropogénicos sobre la variabilidad diaria de parámetros fisicoquímicos en la bahía de Tumaco (Colombia)

Pinzón-Bedoya M L ¹, García Castellanos A K ², Casanova Rosero R F ³.

¹Grupo de Investigación en Tecnologías Verdes (GTV)

Instituto de Investigación en Producción Verde (IPV), Universidad de Pamplona, Sede Villa del Rosario,
E-mail: mlpinzon@unipamplona.edu.co

² Departamento de Ingeniería Civil. y Ambiental, Universidad de Pamplona

³ Área de Protección del Medio Marino, Centro Control de Contaminación del Pacífico. Vía el Morro, Capitanía de Puerto, San Andrés de Tumaco. Nariño – Colombia. E-mail: robinsoncasanova@yahoo.com

ABSTRACT

In this work it is analyzed hour by hour 24 hours variations of physicochemical parameters who are quality indicators of the water in the Tumaco's internal bay, influenced by the human waste water, the meteorological conditions of the region and the cycles of tide that are presented in this area of the Colombian Pacific. This analysis was possible by taking water samples at superficial level in two stations of the bay that were included in the project «The study of water quality in the Tumaco Bay's and Málaga », that it is part of the Strategic Plan for the 2006 of DIMAR - CCCP. These procedures were carried out «in-situ» and by means of laboratory analysis for the determination of the values of superficial temperature of the sea, pH, Transparency, Turbidity, Salinity, Biochemical Oxygen Demands, Dissolved Oxygen, Chlorophyll «a», Ammonium, Nitrites, Nitrates and Phosphates. The results show the influence that has the tide like purifying and diluter of polluting substances that discard daily to the bay, by human contributions that affect the natural balance of the ecosystem.

KEY WORDS

Physicochemical parameters, tide, meteorological conditions, human factors, Water Quality, daily variability.

RESUMEN

En este trabajo se analiza la variación hora a hora durante 24 horas de parámetros fisicoquímicos indicadores de la calidad del agua en la bahía interna de Tumaco, influida por los vertimientos antropogénicos, las condiciones meteorológicas de la región y los ciclos mareales que se presentan en esta zona del Pacífico Colombiano.



Este análisis se hace posible mediante la toma de muestras de agua a nivel superficial en dos estaciones de la bahía, que hacen parte del proyecto “Estudio de la Calidad del agua en la Bahía de Tumaco y Málaga”, enmarcado dentro del Plan Estratégico 2006 de – DIMAR-CCCP (DIMAR, 2003a). Para ello, se realizan procedimientos *in-situ* y análisis de laboratorio para la determinación de los valores de temperatura superficial del mar, pH, transparencia, turbidez, salinidad, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Oxígeno disuelto, clorofila “a”, amonio, nitritos, nitratos y fosfatos. Los resultados muestran la influencia que tiene la marea como agente depurador y diluyente de sustancias contaminantes que se vierten diariamente a la bahía, por aportes antropogénicos que afectan el equilibrio natural del ecosistema.

PALABRAS CLAVES

Parámetros fisicoquímicos, marea, condiciones meteorológicas, factores antropogénicos, calidad de aguas, variabilidad diaria.

INTRODUCCIÓN

En la Costa Pacífica Colombiana, los ecosistemas presentes en las bahías y estuarios revisten gran importancia por su productividad, diversidad y sustento de la población costera. No obstante, se encuentran expuestos a la contaminación generada por residuos sólidos y líquidos, provenientes de las actividades comerciales, turísticas, industriales, domésticas, portuarias y marítimas realizadas en las zonas marino-costera y continental. La Bahía de Tumaco no es la excepción, más aun cuando se ha determinado que la contaminación del medio marino generalmente es más severa en mares cerrados y áreas costeras; la que se ha relacionado con la distribución de la población y las actividades humanas (UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAM, 1984).

Esta Bahía corresponde a un sistema ecológico complejo donde se desarrollan procesos diferentes tales como: fenómenos de transporte, mezcla, morfodinámicos, trofodinámicos, energéticos y químicos. Su influencia externa, proveniente de factores atmosféricos, oceánicos, terrestres y antropogénicos, hacen que las condiciones de la bahía fluctúen continuamente (CCCP, 2001a).

Esta problemática se ha evidenciado tanto en estudios de Diagnóstico ambiental (GUTIERREZ

y RÍOMALO, 2000) como en investigaciones sobre la calidad del agua y el ambiente marino en la Bahía de Tumaco (DIMAR y CCCP, 2003b; CCCP, 1999); caracterización del agua de la ensenada de Tumaco (CCCP, 2006) y transformación química de la materia orgánica presente en la misma (BETANCOURT et al., 2001), entre otros. Dentro de este contexto, se hace necesario la realización de monitoreos constantes y continuos que permitan evaluar el comportamiento del flujo, la dinámica que experimenta el medio y la manera como éstos factores afectan a los ecosistemas y a los pobladores costeros (MARÍN, 2001).

Toda la información generada a partir de tales evaluaciones, permite actualizar la base de información ambiental que describe el comportamiento espacio-temporal de los parámetros físicos químicos y biológicos de la Bahía de Tumaco y evalúa las posibles perturbaciones en las características fisicoquímicas de estos ecosistemas, las cuales pueden estar asociadas a un aumento de nutrientes provenientes de actividades costeras o relacionadas con la evolución de eventos naturales (fenómeno de El Niño, lluvias, erosión, ríos, entre otros), para velar por el cumplimiento de las normas nacionales e internacionales tendientes a la preservación y protección del medio marino, así como por el equilibrio entre



los ámbitos ecológico, socioeconómico y de salubridad de la región (CCCP, 2006).

En el presente trabajo se presenta la información recopilada durante el seguimiento de 24 horas en dos estaciones de la bahía interna de Tumaco, a partir de la cual se genera la información analizada para establecer una primera aproximación de la influencia de la marea sobre la variabilidad diaria de parámetros fisicoquímicos indicadores de la calidad del agua, tales como: temperatura superficial del mar, pH, transparencia, turbidez, salinidad, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Oxígeno disuelto, clorofila "a", amonio, nitritos, nitratos y fosfatos; además, se intenta determinar la influencia de las actividades antrópicas sobre la calidad del agua en dicha zona, teniendo en cuenta las variables asociadas al cambio día-noche (horas de sol, temperatura, etc.).

OBJETIVO

Analizar la influencia de la marea, factores meteorológicos y actividades humanas sobre la variabilidad diaria de algunos parámetros fisicoquímicos tales como: Temperatura Superficial del Mar, Salinidad, Transparencia, Turbidez, Sólidos suspendidos totales, Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Clorofila "a", Amonio, Nitritos, Nitratos y Fosfatos, en la bahía interna de Tumaco (Colombia).

METODOLOGÍA

Selección de las estaciones de monitoreo: De las 9 Estaciones de monitoreo que integran la grilla de estaciones de la Bahía interna de Tumaco en el proyecto "Estudio de la Calidad del agua en las Bahías de Tumaco y Málaga y Aguas de Lastre", adelantado por el Área de Protección del Medio Marino de la DIMAR-CCCP, se seleccionan las estaciones 2 y 6, como se observa en la Figura 1, lo cual permite realizar la comparación entre un área con gran influencia antrópica (Estación 6), y otra donde esta influencia no es muy significativa (Estación 2).

Determinación de variables oceánicas

Marea Esta variable es de vital importancia para el estudio ya que influye fuertemente en la calidad

del agua (DIMAR, 2005; IDEAM, 2005). Una amplitud de marea de 3.5 m y un régimen semidiurno, cambian continuamente, hora a hora y día a día, las condiciones de la bahía, provocando la dilución o concentración de los distintos nutrientes así como las variaciones en la concentración de otros parámetros fisicoquímicos. La observación de los ciclos mareales para el día del muestreo (Figura 2) es importante para la determinación de la hora de inicio de éste y para el análisis de la variabilidad de los parámetros.

Flujo de corrientes en la bahía Las corrientes marinas son inducidas por factores como el oleaje, la marea, los aportes fluviales y las variaciones termohalinas de la bahía de Tumaco. Para el presente estudio son importantes ya que permiten tener una visión general de la dirección de arrastre de contaminantes, materia orgánica, sólidos suspendidos, entre otros, así como de las aguas provenientes del océano, a su vez de las entradas y salidas de éstas con los cambios mareales a lo largo del día, como se puede observar en la Figura 3.

Seguimiento durante 24 horas

Toma de muestras Se realizan muestreos hora a hora a nivel superficial, en las estaciones fijadas. La jornada inicia el día 22 de mayo de 2006 a las 3:30 a.m. y se extiende hasta la misma hora del día siguiente. Se toman muestras de agua en bidones para el análisis en el laboratorio de nutrientes, clorofila "a", turbidez, SST y DBO₅ y en botellas Niskin para trasvasar el agua a las Botellas Winkler para análisis de OD. Las muestras son llevadas al laboratorio en intervalos de cuatro horas.

In-situ se realiza fijación de oxígeno disuelto y se obtienen directamente los valores de TSM, transparencia, pH y salinidad. La temperatura se toma con termómetro de cazoleta a nivel superficial, el pH y la salinidad con multiparámetro y la transparencia con el disco Secchi.

Desde el inicio del muestreo, se toman registros de temperatura ambiente, nubosidad y horas de sol y se observan las principales fuentes de



vertimientos directos a la bahía. Estos valores son complementados posteriormente con los registros de la Estación Meteorológica del IDEAM-CCCP.

Condiciones climáticas registradas Para éste día se registran temperaturas entre 24,0 y 26,8° C, siendo las horas más frías las de la madrugada del 23 de mayo y las más cálidas alrededor de la 1 de la tarde del 22 de mayo, con nubosidad de 8/8 y sin precipitaciones significativas.

A su vez, se reporta que la insolación (horas de sol diarias) solo se presenta en un corto periodo cerca de las 2 de la tarde.

Análisis de laboratorio

En el laboratorio se llevan a cabo procedimientos espectrofotométricos, potenciométricos, conductimétricos, gravimétricos y nefelométricos para análisis de OD, DBO₅, NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻, sólidos suspendidos, turbidez y clorofila "a" por métodos estandarizados y validados por el laboratorio de química de la DIMAR-CCCP.

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

pH Los valores encontrados oscilan entre 7,93 y 8,25 unidades de pH en la Estación 2 y 7,83 y 8,30 unidades de pH en la Estación 6 (Figura 4A). Se observa, que la variación a lo largo del día no es significativa en ninguna de las dos estaciones, esto debido a que el agua marina esta fuertemente tamponada, característica que permite que los procesos de descomposición y recomposición que en ella se realizan, no pongan en peligro la vida en éste ecosistema (IDEAM, 2001a y 2004).

Salinidad Los cambios de la salinidad en la superficie se deben, principalmente, a los procesos de evaporación y precipitación (DIMAR y CCCP, 2003a y b), aunque en las zonas costeras, como en el caso de Tumaco, la marea es el factor predominante de esta fluctuación.

Los valores reportados en la Estación 2 se encuentran entre 27,2 y 31,1‰, mientras que en la Estación 6 se encontraron valores mas bajos,

oscilando entre el 26,7 y los 30,4‰, tal y como se observa en la Figura 4B. Esto se debe, posiblemente, a la cantidad de materia orgánica, desechos tanto sólidos como líquidos, aportados a la Estación 6 por las viviendas palafíticas del área de influencia y en general de toda la isla, la cual es arrastrada por las corrientes mareales hacia esta Estación y posteriormente a toda la bahía, con base en la dinámica de las aguas de la Ensenada, mostrada en la Figura 3.

Temperatura superficial del mar (TSM) Las variaciones diurnas de la temperatura superficial del mar en las zonas costeras pueden llegar a ser de 2 a 3° C, como se observó en el muestreo, donde la temperatura del agua estuvo entre 26,8 y 27,5° C en ambas estaciones; variaciones debidas principalmente a los cambios de temperatura de la atmósfera entre el día y la noche y a la dinámica de la marea a lo largo del día (Málikov y Villegas, 2005).

Para este día se registraron temperaturas atmosféricas relativamente bajas y sin mucha variación (24,4 a 26,8° C), debido a que la región se encontraba en época de invierno y solo se presentó un corto tiempo de radiación, condiciones meteorológicas locales que sin duda tuvieron influencia sobre el comportamiento de la temperatura del mar. Aunado a esto, se encuentra el aporte de aguas oceánicas frías al subir la marea, que hacen que la temperatura disminuya y viceversa, tal y como se observa en la Figura 4C.

Aunque en este documento solo se analiza la variabilidad horaria durante 24 horas, los resultados obtenidos muestran la influencia de las condiciones meteorológicas, tales como la temperatura del aire (ta), sobre la TSM tal y como se evidencia en trabajos de investigación donde se ha realizado el modelamiento de las mismas con registros de 5, 10 y 15 años (HERNÁNDEZ et al., 2006).

Transparencia En la bahía de Tumaco este parámetro presenta una alta variación, dependiendo principalmente del régimen mareal y de la cercanía a las desembocaduras de los



ríos, así como a las descargas de residuos domésticos e industriales (DIMAR-CCCP, 2003a). Esto se hace visible cuando se comparan los resultados obtenidos en las Estaciones 2 y 6, donde se aprecia a la primera con poca influencia antrópica y mayor influencia de aguas oceánicas, presenta valores de transparencia más altos, oscilando entre 1,8 y 4 m. En la segunda Estación, debido a la mayor cantidad de partículas en suspensión, se reportaron profundidades de penetración de la luz más bajas y con menor variación, entre 1,8 y 3,1 m. Ambas estaciones presentaron su máxima transparencia en el periodo de plenamar, entre las 11:30 am y las 12:00 del medio día, debido a la dilución de la materia orgánica suspendida por parte del aporte de agua oceánica clara, tal y como se observa en la Figura 4D.

Turbidez La turbidez es un parámetro inverso a la transparencia y por tanto a la altura de la marea. Este comportamiento esta de acuerdo con lo observado en la Figura 4E donde a medida que aumenta la marea, los valores de turbidez disminuyen en ambas estaciones, aunque conservando una menor amplitud de variación en la Estación 2, ya que en esta zona la cantidad de sólidos suspendidos es menor. Esto hace que los aportes de agua oceánica hagan menos variable este parámetro en la Estación 2 que en la Estación 6, donde el proceso de dilución es más notorio. Para este día se registraron valores de turbidez entre 1,01 y 2,28 NTU para la Estación 2 y de 1,13 a 4,21 NTU para la Estación 6.

A manera de ejemplo, en la Figura 5A se muestra un análisis comparativo entre la turbidez y la transparencia de los datos obtenidos en la Estación 2, donde se observa que al aumentar la turbidez disminuye la transparencia y viceversa. El incremento de la Turbidez en el agua por la presencia de residuos y sedimentos, impide la penetración de la luz solar perturbando el proceso de fotosíntesis. Ello trae consigo la disminución de la productividad primaria, es decir se reduce la producción de fitoplancton, primer eslabón de la cadena trófica básica y ocasiona que algunos peces y demás organismos vivos sufran asfixia por disminución del oxígeno disuelto

en el agua (IDEAM, 2001b).

Sólidos suspendidos Totales (SST) Este parámetro, es influido por los cambios mareales y por los vertimientos generados por las actividades antrópicas (DIMAR, 2003a y b). En la Estación 2 se registraron valores entre 5,00 y 60,80 mg/L y en la Estación 6 de 7,00 a 72,00 mg/L. En ambas Estaciones, los valores más bajos se reportaron en las horas de marea más alta, debido a la dilución del material en suspensión por parte de los aportes oceánicos, como se puede observar en la Figura 4F.

Existe una diferencia significativa en el comportamiento de este parámetro entre el día y la noche. En el día, además de los aportes por vertimientos domésticos e industriales, se tiene el aporte debido a la circulación de las lanchas, lo que provoca una alta remoción de sólidos del fondo, con el consecuente aumento en la concentración de SST, especialmente en la Estación 6, donde la profundidad es relativamente baja. En las horas de la madrugada, se observa un marcado descenso en los valores de este parámetro, debido a la baja actividad humana que se presenta en las noches, lo que disminuye la cantidad de vertimientos aportantes de sólidos en suspensión a la bahía.

Oxígeno disuelto (OD) Durante el seguimiento se registraron valores entre 4,16 y 4,91 ml/L en la Estación 2 y entre 3,68 y 4,79 ml/L en la Estación 6. Estos valores son relativamente bajos en comparación con los encontrados en los océanos, debido principalmente a los procesos de transformación que se presentan en las zonas costeras, sobre todo de descomposición de materia orgánica proveniente, en su gran mayoría, de los aportes aguas residuales que se vierten diariamente a la bahía (DIMAR-CCCP, 2003a).

En cuanto a la variabilidad diaria de este parámetro, se aprecia claramente en la Figura 4G, que el OD esta ampliamente relacionado con los ciclos mareales, siendo en la Estación 2, donde son más notables y constantes los



cambios de concentración a través del tiempo. En esta Estación, se registró el mayor valor de OD a las 12:30 p.m., una hora después de que se presentó la primera pleamar del día, lo que corrobora lo afirmado anteriormente. Situación similar se observa en la segunda pleamar, en las horas de la noche, aunque con valores de oxígeno más bajos debido a que en éste lapso de tiempo, la fotosíntesis llevada a cabo durante las horas de sol cesa, continúa el consumo de oxígeno lo que provoca una disminución de éste. Para este día, no se registraron variaciones significativas de OD probablemente a causa de la ausencia de luz solar, ya que el cielo estuvo totalmente cubierto a lo largo del tiempo de muestreo.

Clorofila "a" En cuanto a los valores de clorofila "a" encontrados, se observa una mayor concentración de ésta en las horas del día, donde la producción fotosintética se activa gracias a la luz solar. Este comportamiento es más visible en la Estación 6, donde el mayor valor se presenta muy cercano al corto tiempo de insolación registrado para este día.

Por otro lado, se observa que la marea también tiene cierta influencia sobre el comportamiento de la clorofila "a" en la superficie, aunque al parecer es menor que la ejercida por el cambio día – noche. Las aguas oceánicas que se incorporan a la bahía al subir la marea, permiten tanto la dilución como el arrastre de sólidos suspendidos, haciendo que los rayos del sol penetren a una mayor profundidad y que se incremente la producción de clorofila "a". Cabe mencionar que ésta también hace parte de los sólidos suspendidos totales que por lo general, en horas de la noche, están comprendidos principalmente por materia orgánica. Sin embargo, para corroborar esta hipótesis, es necesario hacer un análisis cualitativo de sólidos suspendidos y de fitoplancton, tanto en marea baja como en marea alta.

Los valores para este parámetro oscilan entre 1,29 y 5,98 mg/m³ en la Estación 2 y entre 0,92 y 9,08 mg/m³ en la Estación 6, como se puede observar en la Figura 4H. En esta última estación, los niveles de sólidos suspendidos son mayores,

razón por la cual, al subir la marea, los valores de clorofila "a" aumentan. Estos valores se consideran como altos a nivel oceánico, pero están dentro de los rangos promedio encontrados en los trabajos que el CCCP ha realizado al respecto (CCCP, 1999, 2000, 2001a,b y c).

No obstante lo anterior, la importancia de estas mediciones radica en su confiabilidad, ya que trabajos de investigación recientes reportan que las condiciones climáticas son una desventaja a la hora de aplicar métodos más sofisticados para tales mediciones como la información satelital "in situ" de este parámetro (BASTIDAS y RODRÍGUEZ-RUBIO, 2006).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Para el día en cuestión, los registros de DBO₅ oscilaron entre 0,70 y 1,41 ml/l en la Estación 2 y de 0,72 a 1,64 ml/l en la Estación 6, con algunos valores fuera del rango de DBO₅ establecido para aguas estuarinas (KIELY, 1999). sobre todo en la Estación 6 en las horas de la madrugada, como se observa en la Figura 4I. Este hecho se debe a que en ésta Estación, el contenido de materia orgánica presente, proveniente de las actividades humanas, es bastante alto y en ciertos períodos del día, se evidencian valores que indicarían contaminación por materia orgánica en este sector de la bahía.

A lo largo del día, el comportamiento de este parámetro es constante, sobre todo en la Estación 2, donde al parecer la influencia mareal es menor. Este parámetro tiene una relación inversa a la altura de la marea debido principalmente, a que al subir la marea la bahía se oxigena al tener aportes de aguas más frías, más claras y ricas en oxígeno.

Al contrario del oxígeno disuelto, la DBO₅ presenta sus mayores valores en las horas de la noche, donde la producción de oxígeno fotosintético cesa y el consumo de éste aumenta a causa de la biodegradación de la materia orgánica. Una representación de este comportamiento puede observarse en la Figura 5B, la cual corresponde a los datos encontrados



en la Estación 2. Los valores de OD mayores que los de DBO_5 , indican que el consumo de oxígeno presente es menor que la producción de este, permitiendo por tanto que la oxidación de la materia orgánica se lleve a cabo de tal manera que no se produzcan zonas de hipoxia ni eutrofización en el área de estudio (Figura 5C; MOSQUERA, 1992).

Nutrientes De manera general, el comportamiento de los nutrientes analizados (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-}) fue similar entre ellos. Aunque los valores de estos parámetros a lo largo del día son oscilantes, se observa cierta tendencia que relaciona este comportamiento con los cambios mareales, lo que se puede explicar teniendo en cuenta que los aportes de aguas oceánicas claras diluyen la materia orgánica y los contaminantes que son arrojados a la bahía (DIMAR-CCCP, 2003a), (CARPENTER, E. J. y CAPONE, 1983).

A manera de ejemplo se citan dos de estos parámetros, nitratos y fosfatos. En el caso de los nitratos, se observa que sus valores estuvieron entre 0,02 y 0,58 $\mu M/L$ en la Estación 2 y entre 0,02 a 1,48 $\mu M/L$ en la Estación 6 y los fosfatos con valores entre 0,10 y 0,35 $\mu M/L$ para la Estación 2 y entre 0,16 y 0,41 $\mu M/L$ para la Estación 6. Ambos parámetros reportan sus mayores valores en la Estación 6, al igual que el resto de nutrientes, debido a los aportes antrópicos que se realizan a lo largo del día, como se puede visualizar en la Figuras 4J y 4K.

CONCLUSIONES

- La marea es un factor que influye positivamente en la depuración de las aguas en la bahía de Tumaco, debido al proceso de dilución y arrastre que ejerce ésta sobre los vertimientos que se realizan diariamente sin ningún control.

- Los factores meteorológicos influyen sobre la variabilidad diaria de los parámetros estudiados, incidiendo sobre el comportamiento de los mismos.

- Los valores de los diferentes parámetros están dentro de los criterios permisibles (nacionales e internacionales) de la calidad de las aguas. No

obstante, se deben tomar los correctivos del caso, para evitar una mayor afectación sobre el ecosistema acuático.

- Las descargas de origen antropogénico son un factor que altera las condiciones normales del medio. Esto se puede corroborar comparando los niveles encontrados para cada parámetro en las dos estaciones. El análisis entre la Estación 2 y la Estación 6 de los parámetros indicadores de la calidad del agua, muestra una afectación antropogénica severa con una reproducibilidad incierta en la Estación 6.

- Bajo las condiciones anteriores, la Estación 6 es la que presenta un mayor beneficio con la incorporación de aguas oceánicas, por los procesos de dilución y arrastre, los cuales son más notorios con la creciente de la marea y necesarios para conservar esta área en condiciones ambientalmente favorables.

- El parámetro que registró mayor variación en sus niveles de concentración fue el de Sólidos Suspendidos Totales (5–60,8 mg/L), sobre todo en la Estación 6, por las razones mencionadas anteriormente, y los de menor variación fueron Temperatura Superficial del Mar y pH (26,8–27,4° C y 7,93 - 8,25, respectivamente), al ser parámetros influenciados principalmente por factores externos diferentes a los antropogénicos, tales como las condiciones meteorológicas y oceanográficas de la región.

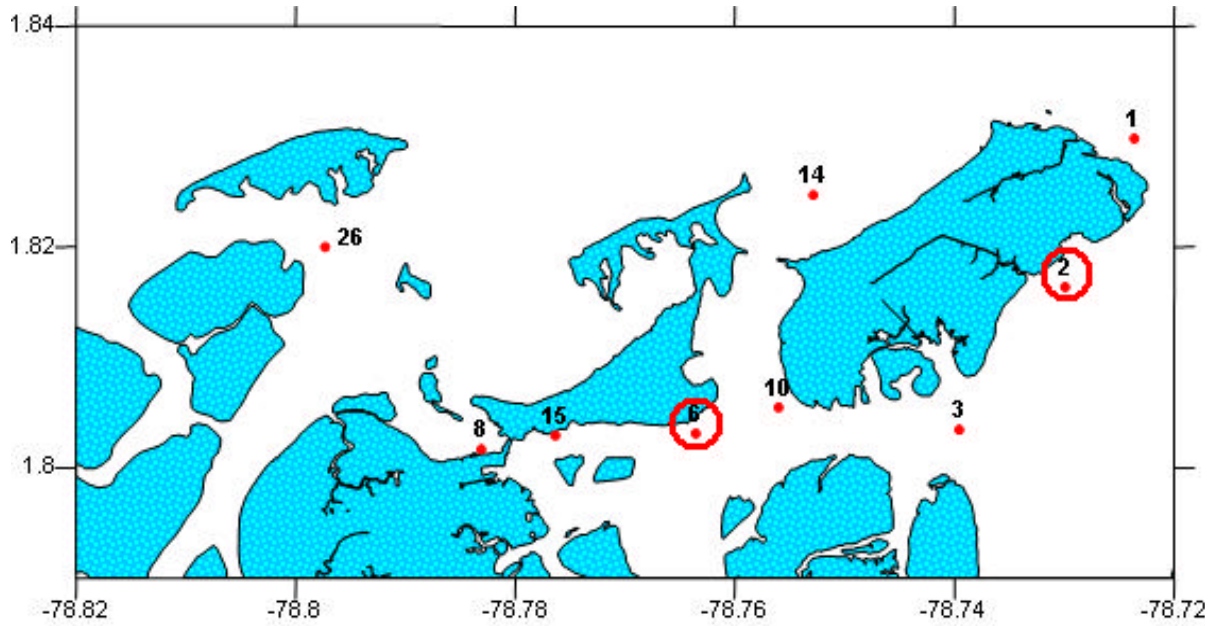
- Los parámetros que mayor variación presentaron a lo largo del día, es decir hora a hora, fueron los nutrientes, probablemente debido a las descargas puntuales que se hacen a la bahía en determinados momentos del muestreo y del flujo y reflujo de la marea, que hace que estos valores fluctúen a través del tiempo.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro Control de Contaminación del Pacífico de la Dirección General Marítima (DIMAR-CCCP), y de manera especial al Área de Protección del Medio Marino, encargada del Proyecto "Estudio de la Calidad del Agua en la Bahía de Tumaco y Málaga".

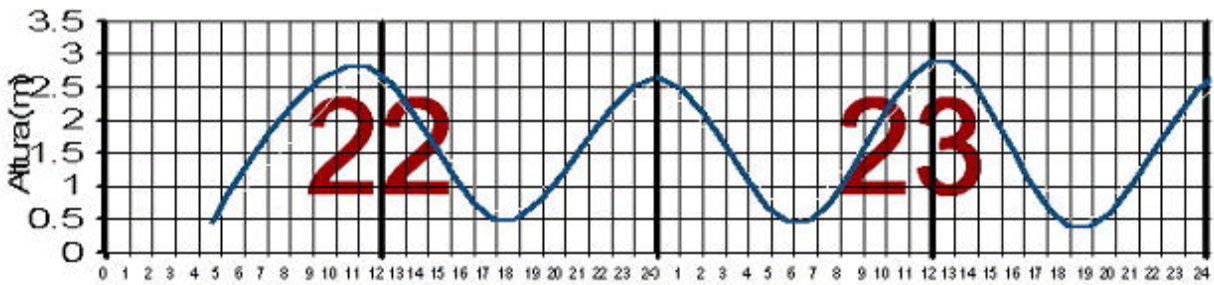


Figura 1. Bahía interna de Tumaco. Ubicación de las estaciones de monitoreo para el seguimiento de 24 horas (indicadas con círculos rojos)



Fuente: DIMAR - CCCP

Figura 2. Ciclos mareales para los días 22 y 23 de junio de 2006



Fuente: DIMAR - CCCP

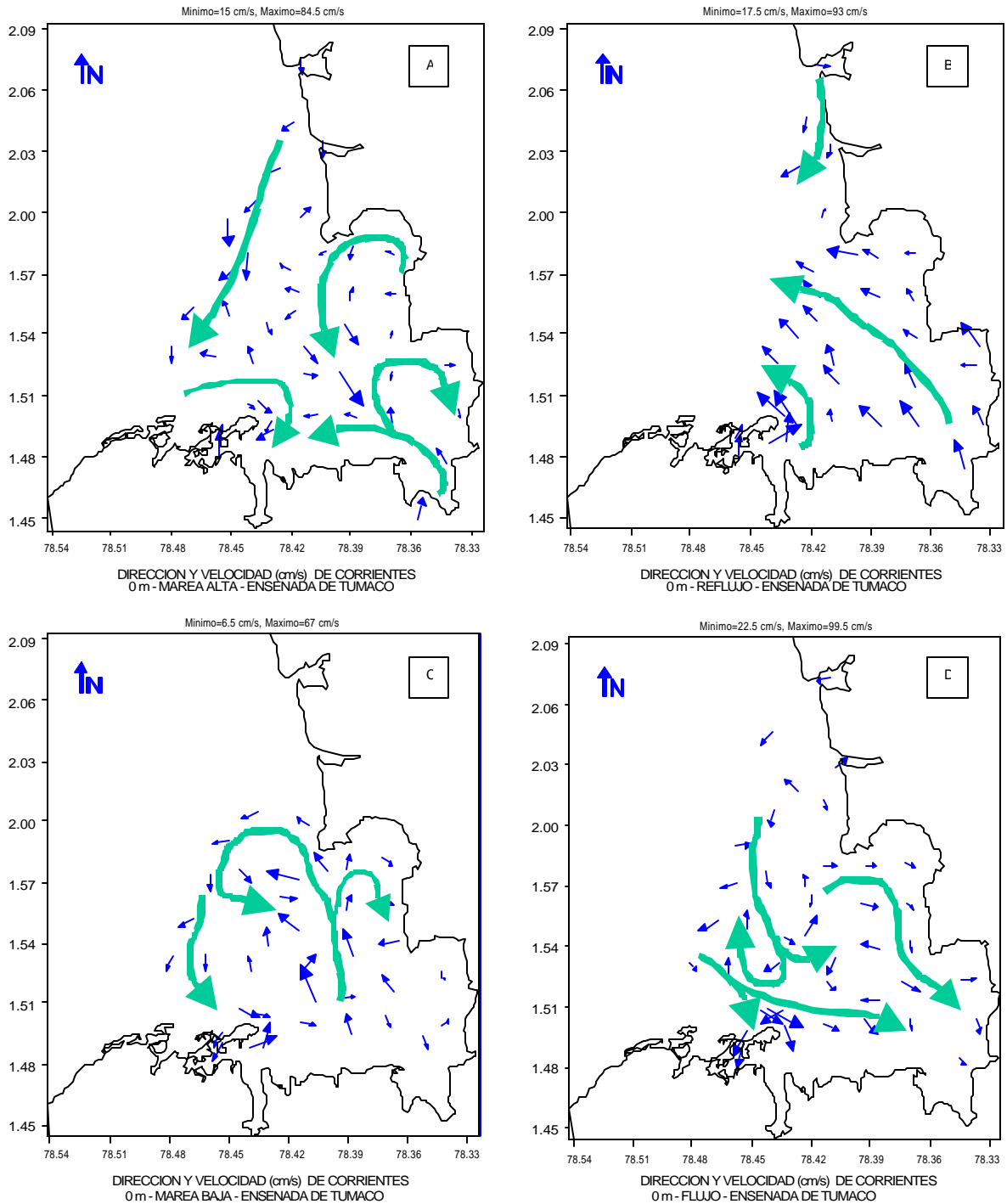
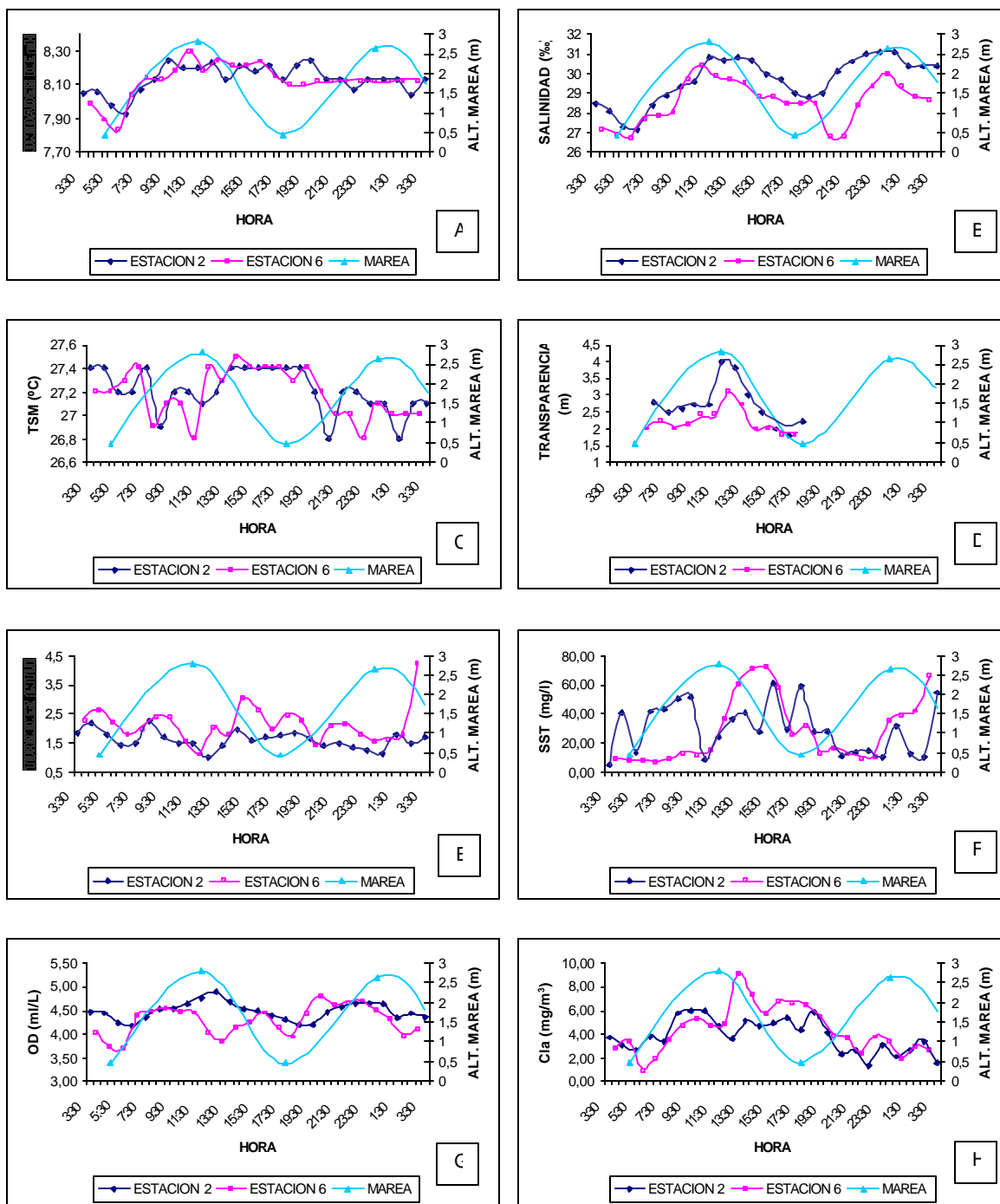


Figura 3. Aproximación a la dinámica de las aguas superficiales en la Ensenada de Tumaco. A) Marea alta B) Reflujo (Vaciante) C) Marea baja y D) Flujo (Creciente)

Fuente: DIMAR – CCCP, 2001



Figura 4. Análisis comparativo de cada parámetro con la marea en las Estaciones 2 y 6. A) pH B) Salinidad C) Temperatura superficial del mar D) Transparencia E) Turbidez F) Sólidos suspendidos totales G) Oxígeno disuelto H) Clorofila a I) DBO₅ J) Nitratos K) Fosfatos



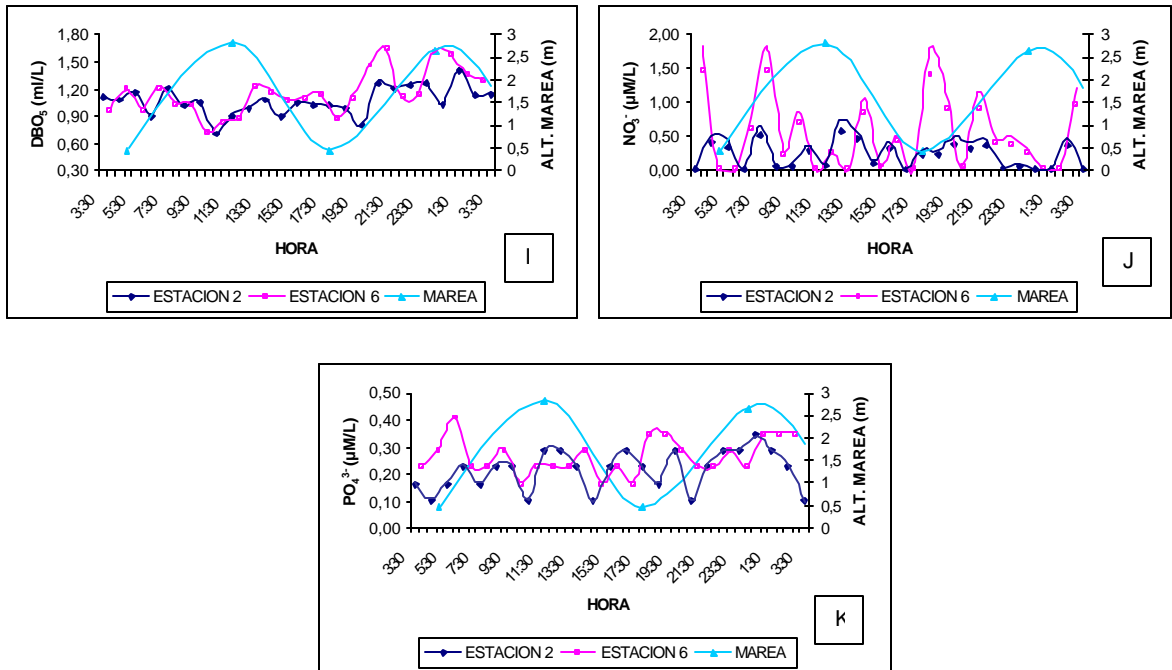
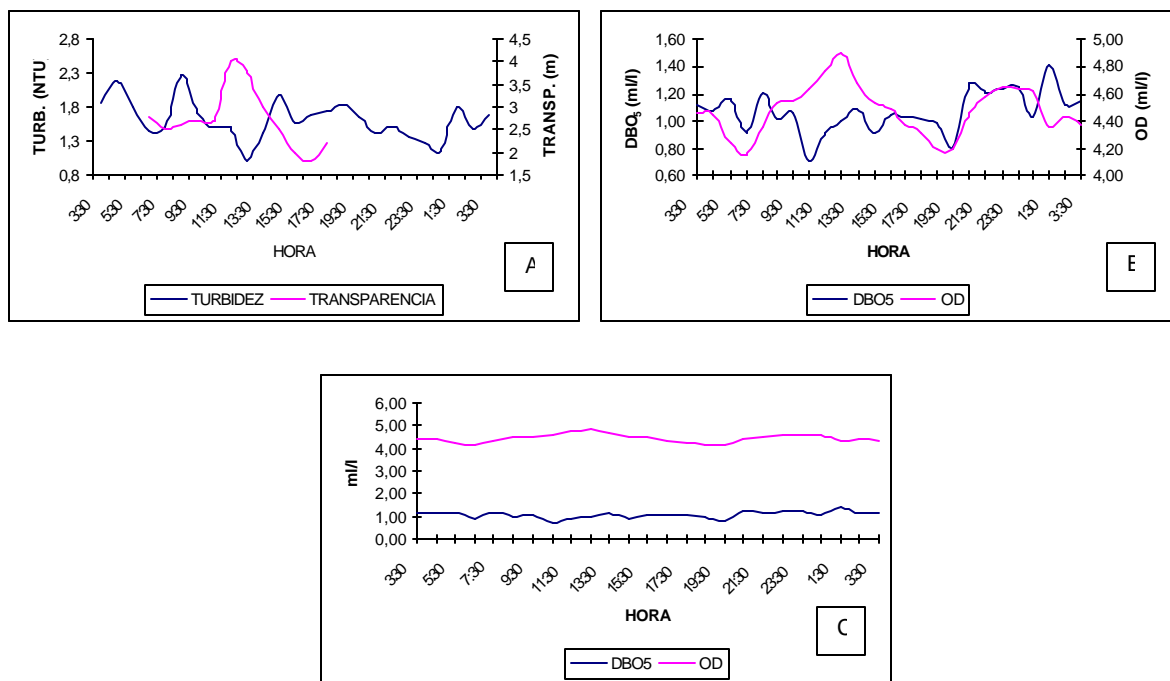


Figura 5. Análisis comparativo entre grupos de diferentes parámetros en la Estación 2. A) Turbidez vs. Transparencia B) DBO_5 vs. Oxígeno disuelto D) DBO_5 y Oxígeno disuelto





BASTIDAS, M. Y RODRÍGUEZ-RUBIO E. Validación de la Concentración de Clorofila a Generada por el sensor Modis-Aqua con Datos In Situ en el Pacífico Colombiano. *Revista Colombiana de Física*, Vol. 38, No. 2. 2006.

BETANCOURT, J.M; CASANOVA, R.; CASTRO, L. Transformación Química de la Materia Orgánica en la Ensenada de Tumaco. *Boletín Científico CCCP*, Vol. 8. San Andrés de Tumaco, 2001.

CARPENTER, E. J. y CAPONE, D. G. Nitrogen in the Marine Environment. Academic Press, New York, 1983.

CENTRO CONTROL CONTAMINACION DEL PACIFICO. Proyecto Estudio de la Calidad del agua en las Bahías de Tumaco y Málaga. Informe Técnico de Avance. San Andrés de Tumaco, 2006.

———. Proyecto Estudio de los procesos hidroquímicos, biológicos y de la contaminación por hidrocarburos en la Costa Pacífica Colombiana - Caso de estudio Ensenada de Tumaco. Informe Técnico. San Andrés de Tumaco, 2001a.

———. Proyecto Modelo de calidad de aguas para la Ensenada de Tumaco y monitoreo de la contaminación marina en el Pacífico Colombiano - Fase IV. Informe Técnico. San Andrés de Tumaco, 2001b.

———. Proyecto Monitoreo de las condiciones químicas, físicas, biológicas y comportamiento de hidrocarburos en la Ensenada de Tumaco. Informe Técnico. San Andrés de Tumaco, 2001c.

———. Proyecto Modelo de calidad de aguas para la Ensenada de Tumaco y plan de seguimiento y vigilancia de la contaminación marina en el Pacífico Colombiano. Informe Técnico. San Andrés de Tumaco, 2000.

———. Informe Proyecto Calidad de Aguas, CCCP, San Andrés de Tumaco, 1999.

DIRECCIÓN GENERAL MARÍTIMA, DIMAR. Pleamares y Bajamares Costa Pacífica Colombiana 2006. IDEAM: Santa Fe de Bogotá, 2005.

——— y CENTRO CONTROL CONTAMINACION DEL PACIFICO. Aportes al entendimiento de la Bahía de Tumaco. Editorial DIMAR-CCCP: San Andrés de Tumaco, 2003a.

——— y ———. Panorama de la Contaminación Marina del Pacífico Colombiano. Editorial DIMAR. CCCP: San Andrés de Tumaco, 2003b.

GUTIERREZ M. y A. RÍOMALO. Diagnóstico Ambiental San Andrés de Tumaco. Corponariño. Tumaco, Nariño, Colombia. 2000.

HERNANDEZ D., MÁLIKOV I., y VILLEGAS N. Relaciones espacio-temporales entre la temperatura superficial del mar y de la cuenca del pacífico colombiano y el Ciclo Oscilación del Sur. *Memorias VII Congreso Colombiano de Meteorología*, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2006.

INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES Pleamares y Bajamares Costa Pacífica Colombiana 2006. IDEAM: Santa Fe de Bogotá, 2005.

INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Guía de Monitoreo de la calidad del agua. IDEAM: Santa Fe de Bogotá, 2004.

———. Indicadores de calidad ambiental. pH del agua superficial. En: <http://www.ideam.gov.co/indicadores/calidad2.htm>. IDEAM: Santa Fe de Bogotá, 2001 a.

———. Indicadores de calidad ambiental. Turbidez del agua superficial. En: <http://www.ideam.gov.co/indicadores/calidad5.htm>. IDEAM: Santa Fe de Bogotá, 2001 b.

KIELY, G. Ingeniería Ambiental. Mc Graw Hill. España, 1999.

MÁLIKOV, I. y VILLEGAS N. (2005). Construcción de Series de tiempo de la Temperatura Superficial del Mar de las zonas Homogéneas del Océano Pacífico Colombiano. *Boletín Científico, CCCP*, Vol.12.

MARIN Z., B. Contaminación marino-costera en Colombia. En: INVEMAR. Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: Año 2001. Santa Marta, 2001.

MOSQUERA, M. A. La contaminación orgánica un posible precursor de la eutroficación en la Ensenada de Tumaco. *Boletín Científico CCCP*, Vol. 3. San Andrés de Tumaco, 1992.

UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAM (1984). Prospects for global ocean pollution monitoring. En: *Ciencias marinas*, Vol. 21, N° 4. 1995

Recibido 15 Febrero 2007
Aceptado 20 Agosto 2007