

CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA ENSENADA DE TUMACO

1. Robinson F. Casanova R, 2 Julián M. Betancourt P.

RESUMEN

El presente estudio se desarrolló como parte del convenio **Centro Control Contaminación del Pacífico (CCCP)** y la **Empresa Colombiana de Petróleos (ECOPETROL)**, durante el período febrero de 1997 a diciembre de 1997, con el ánimo de contribuir al conocimiento de la caracterización de las aguas de la Ensenada de Tumaco, bajo el monitoreo de una serie de estaciones de muestreo distribuidas en la Ensenada de Tumaco. La información lograda se utilizará posteriormente a través de relaciones que existan en términos numéricos por medio de un modelo matemático que permita predecir la capacidad de asimilación del cuerpo de agua receptor; por causa del vertimiento directo e indirecto al mar de las aguas servidas, desechos de procesos industriales de la población y material suspendido y/o particulado que aportan varios ríos que desembocan sobre el área.

INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de nutrientes (nitritos, nitratos, fosfatos, amonio, silicatos) es un factor decisivo en la fertilidad de las aguas y sus condiciones extremas, van en detrimento del ecosistema marino, es así como, descensos en las concentraciones trae efectos negativos en la productividad primaria, y un excesivo aumento puede conllevar a problemas de eutroficación de las aguas provocando un fuerte desequilibrio ecológico.

Estos parámetros químicos denominados corrientemente como nutrientes son esenciales para la productividad primaria en el mar, cuya presencia está fuertemente ligada a los niveles de dichas sustancias, e influyendo en la fertilidad del medio marino. Por otra parte una buena disponibilidad de estas sustancias (especialmente fósforo) ayuda al desarrollo y crecimiento de microorganismos especializados en la degradación de sustancias contaminantes tales como los hidrocarburos.

Es por esto, que el CCCP dando cumplimiento a la misión asignada por la Dirección General Marítima (DIMAR), de velar por la conservación del medio ambiente y la preservación de los recursos naturales, para un desarrollo sostenible de la región adelanta estos estudios con el fin de poderlos aplicar posteriormente a un modelo de calidad de aguas para la Ensenada de Tumaco.

El CCCP desarrolló un estudio sobre calidad del agua durante el período comprendido entre 1990 y 1993, determinando parámetros físicos y químicos en algunos puntos de la Ensenada de Tumaco. En 1997 se observó la necesidad de actualizar y completar dicha información para posteriormente poder expresar por medio de relaciones en términos numéricos que existan bajo un modelo matemático.

En febrero/97 con el fin de lograr la información más completa posible se inició un monitoreo mensual de parámetros físicoquímicos en aguas en una serie de estaciones que cubrieron globalmente la Ensenada.

El área de estudio correspondió a aguas interiores, netamente costeras de la Ensenada de Tumaco, donde se observó variabilidad sustancial en tiempo y espacio de los diferentes parámetros analizados.

Las aguas de la parte Este de la Ensenada son muy turbias, a causa de grandes cantidades de sólidos suspendidos producidas por el impacto de las olas y del arrastre de ríos que desembocan (Chagüi, Mexicano, Rosario, Tablones, Colorado, entre otros); desencadenando una serie de consecuencias que alteran la mayoría de los parámetros analizados. Por ejemplo, En varias estaciones se obtuvieron transparencias que no alcanzan los 20 cm, siendo relativamente muy bajos con relación a los valores obtenidos en otras estaciones del área de estudio.

Entre los factores más importantes que afectan la calidad del agua del medio marino en la Ensenada de Tumaco, se encuentran:

- El vertimiento directo e indirecto de desechos domésticos tanto de carácter orgánico como inorgánico de la población e industria, principalmente los aserríos, que por estar sobre áreas de baja mar permiten el contacto de las aguas en el período de marea alta con los grandes volúmenes de aserrín generados, presentándose el problema de transporte de este material hacia el ambiente marino.

- La carencia de un sistema de alcantarillado y un servicio eficiente de recolección de basuras conducen a la población a arrojar sus desperdicios al mar.

- El vertimiento de aguas con alto contenido de material orgánico provenientes de los procesos de las empresas de productos hidrobiológicos.

ÁREA DE ESTUDIO

La Ensenada de Tumaco, localizada en el extremo suroccidental de Colombia, delimitada por las latitudes $1^{\circ}45'00''$ y $2^{\circ}00'00''$ N y longitudes $78^{\circ}30'00''$ y $78^{\circ}45'00''$ W; con un área aproximada de 350 Km²; régimen mareal semidiurno con amplitud máxima de 4m y profundidades entre los 2 y 30m (Peña, 1995) y una longitud de 27 Km (Figura 1).

Tumaco es uno de los Municipios más importantes de la Costa Pacífica Colombiana, presenta una humedad relativa promedio anual del 86 % y una temperatura ambiente media que oscila entre 25.5 y 26.0 °C (CCCP 1997).

En la Ensenada de Tumaco vierten sus aguas algunos ríos como: Curay, Colorado, Chagüi, Tablones, Mejicano, Rosario, Mira, Patía, Guandarajo, Chilví, Caunapí y Guadual y esteros de gran importancia, los cuales aportan materiales de tipo aluvial que modifican continuamente las condiciones morfológicas de la Ensenada y la calidad de sus aguas.

METODOLOGÍA

Se determinaron mensualmente parámetros fisicoquímicos tales como: oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, pH, Temperatura del agua, salinidad, transparencia, nutrientes (nitritos, nitratos, Amonio, fosfatos) y salinidad en 26 estaciones.

Los análisis de parámetros fisicoquímicos, se realizaron por métodos estandarizados internacionalmente que utilizan técnicas espectrofotométricas en análisis de nutrientes,

potenciométricas en el análisis de pH, conductimétricas en el análisis de salinidad y volumétricas en el análisis de oxígeno disuelto (O.D) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).

El **amonio** se determinó por el método propuesto por Riley (1953) y modificado por Strickland y Parsons (1968 - 1972) y se conoce ampliamente como el método del azul de indofenol.

La determinación de **Fosfatos** se llevó a cabo por el método del ácido ascórbico, desarrollado por Murphy y Riley (1952) y recomendado por Strickland y Parsons (1972) y FAO (1975).

Los **Nitritos** se determinaron a través del método desarrollado por Shinn (1941) y modificado por Bendschneider y Robinson (1952) y los Nitratos por el método descrito por Strickland y Parsons (1972).

Para la determinación analítica de estas sustancias, se hicieron las respectivas curvas de calibración de Absorbancia vs Concentración, lográndose coeficientes de regresión lineal entre 0.990 y 0.996 ; con estándares de alta pureza, en un rango de concentraciones esperado de los niveles de las diferentes muestras recolectadas.

El **oxígeno disuelto** fue medido por el método volumétrico de **Winkler** (1888) revisado por Carpenter (1966), siendo el más utilizado por parte de la comunidad de laboratorios debido a su sensibilidad y precisión y además es relativamente sencillo.

RESULTADOS

CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Parámetro	Valor	Referencia	Caracterización
pH	6.5 - 8.5	Decreto 1594/84.	M.S de Colombia
Rango Normal, Aguas	Marina y estuarina		
NO ₂ -	0-2 ug.at.N-NO ₂ /l	Carpenter, 1975	
NO ₃ -	0-30 ug.at.N-NO ₃ /l	Carpenter, 1975	Rangos en Zonas
NH ₄ ⁺	0-25 ug.at.N-NH ₄ ⁺ /l	Carpenter, 1975	Costeras
PO ₄ -3	0-0.65 ug.at.P-(PO ₄)-3/l	García, 1970	
Oxígeno disuelto	2.8 ml O ₂ /l	Decreto 1594/84.	M.S de Colombia
Rango Normal, Aguas	Marina y estuarina		

Nutrientes

Las concentraciones para los diferentes nutrientes reportadas en este estudio se expresan como: ug.át.N-NO₃-/l para nitratos ; ug.át.N-NO₂-/l para nitritos ; ug.át.N-NH₄⁺/l para amonio y ug.at.P-(PO₄)-3 para fosfatos.

La unidad de medida para la transparencia esta dada en metros ; para el oxígeno disuelto en mililitros por litro y para la salinidad en partes por mil.

El nitrógeno y el fósforo son esenciales para el crecimiento de las algas, junto con otros elementos traza son denominados como nutrientes y la proporción del crecimiento de las algas está ampliamente controlado por su presencia en las aguas superficiales.

Nitrato. El nitrógeno se encuentra combinado en el agua de mar como nitratos, nitritos, iones amonio y compuestos orgánicos del orden de trazas. La mayor parte del nitrógeno en el mar se halla en forma de iones nitrato, su concentración normalmente varía entre 25 - 500 ug de **N-NO₃/l** (Morris y Riley, 1963).

Nitritos. Representan una forma intermedia en el ciclo del nitrógeno. Pueden estar presentes en las aguas como resultado de la degradación biológica de las proteínas o provenir de otras fuentes.

Amonio. En el mar proviene principalmente de las excreciones de animales marinos y descomposición de compuestos orgánicos nitrogenados, provenientes de organismos muertos. Diversos organismos fitoplanctónicos utilizan el amonio y lo convierten nuevamente en compuestos orgánicos nitrogenados, o puede ser oxidado por acción química, fotoquímica o bacteriana a nitrito y luego a nitrato (RILEY, 1953).

Fósforo. Se encuentra en el agua en una diversidad de formas disueltas y particuladas. En el mar, los iones fosfato junto con los nitritos son factor limitante en el crecimiento del plancton en los océanos.

Otros Parametros

Oxígeno Disuelto. Su evaluación del en todo sistema de agua natural, es de importancia fundamental para conocer la distribución de organismos en los océanos, para los estudios de descomposición de materia orgánica y para la de productividad de los océanos.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5). Es solamente un índice general cualitativo o semicuantitativo de los compuestos orgánicos susceptibles de ser degradados en un corto período de tiempo. Las pruebas de DBO se aplican para calcular el efecto que producen los efluentes domésticos o industriales, sobre el contenido de oxígeno en los cuerpos de agua receptoras y evaluar su capacidad para asimilar descargas.

ANALISIS DE RESULTADOS

En la Ensenada de Tumaco los niveles encontrados de los diferentes parámetros fisicoquímicos, su alteración se puede atribuir a los siguientes factores: actividades Humanas de la bahía interna de Tumaco, aporte continental (ríos) e influencia oceánica.

Los valores medios de nutrientes fueron relativamente altos en los primeros meses del estudio frente a los últimos muestreos; y los mínimos valores se obtuvieron en agosto, comportamiento que se relaciona con incremento del nivel del mar durante la época del estudio (resultados proyecto ERFEN CCCP, estación mareográfica IDEAM, 1997), lo que implica la influencia de masas de aguas oceánicas cálidas y con características oligotróficas (ver figura 3).

Los datos obtenidos fueron igualmente promediados para cada estación; y mediante programas de computación y siguiendo la grilla establecida (figura 1) se realizaron gráficas de isotineas para cada parámetro anali-

Los valores encontrados para las diversas formas del nitrógeno (NO₂⁻, NO₃⁻ y NH₄⁺) y el fósforo (PO₄⁻³) durante los meses de febrero a diciembre fueron muy variables, principalmente para el ion amonio.

En donde se observan características generales, tales como: bajas concentraciones en la zona central de la Ensenada; las mayores concentraciones de nutrientes se localizan en la parte Este de la Ensenada, hacia el sector de la Caleta, por ser éste un sitio de confluencia de vahos ríos; y no se manifiesta incidencia alguna del casco urbano de Tumaco en el aporte de nutrientes al resto de la Ensenada.

El amonio sigue siendo el nutriente que se encuentra en mayor concentración en concordancia con los niveles históricos de la región; proveniente de la descomposición del material organonitrogenado que llega a la Ensenada.

Según los promedios mensuales de los diferentes nutrientes para el área, el valor más alto fue para los nitratos con 3.04 durante abril; siguiendo los promedios para el amonio durante los meses de mayo y octubre con 2.55 y 1.68 respectivamente, (tabla No. 1) el cual proviene principalmente de fermentos proteolíticos.

Fig. 3 Promedios mensuales para nutrientes en los tres sectores de la Ensenada de Tumaco

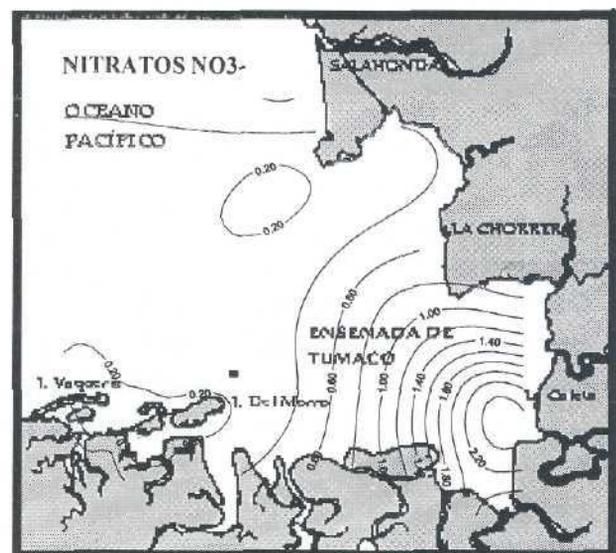
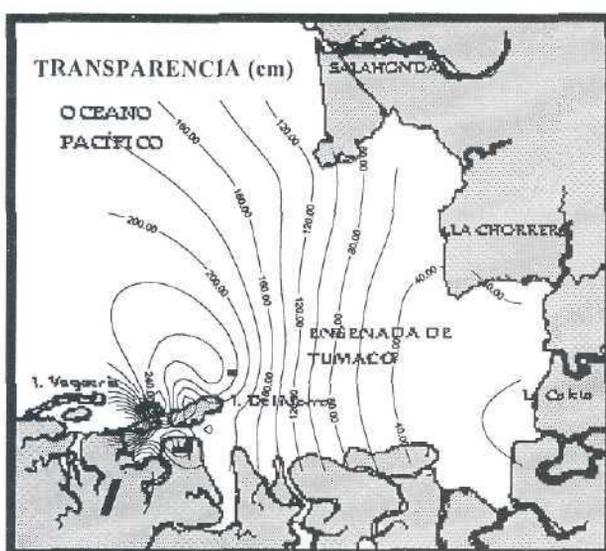
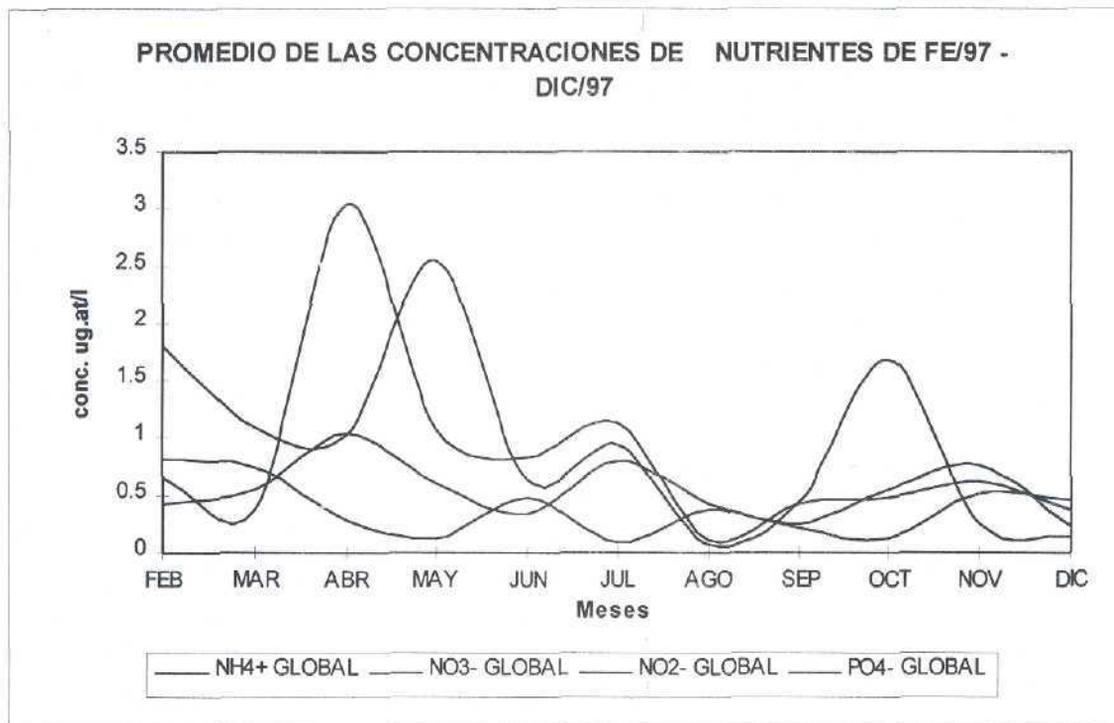


FIG.4 DISTRIBUCION ESPACIAL DE NO₃⁻

FIG.6 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE NO₂-

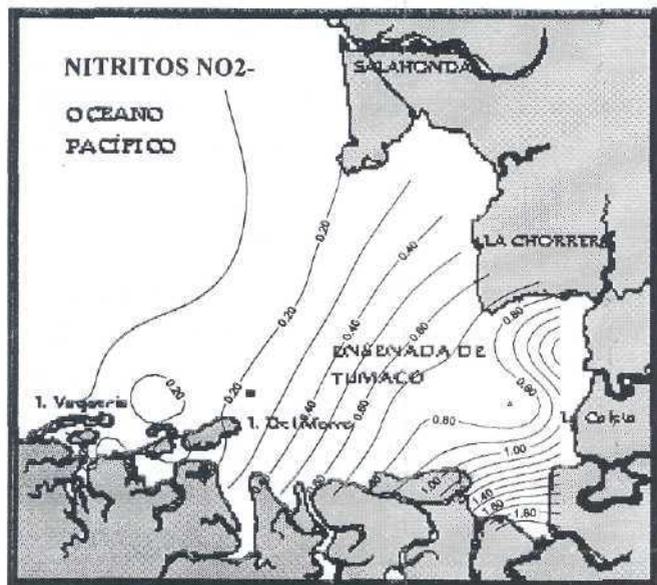


FIG.7 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE (PO₄)-3

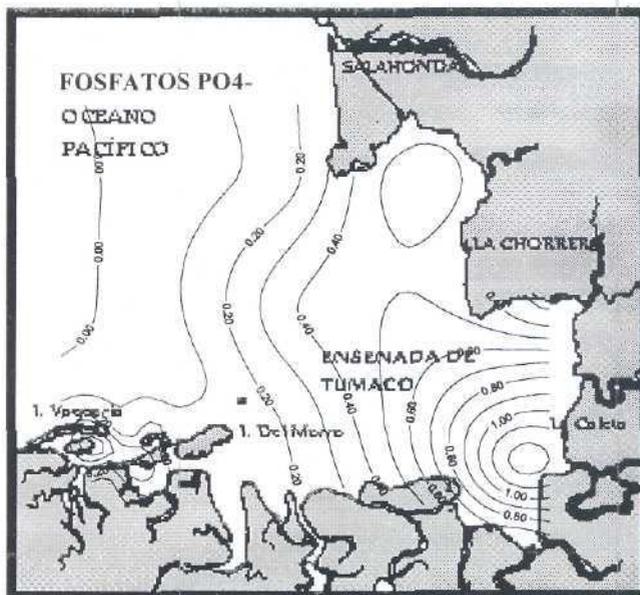
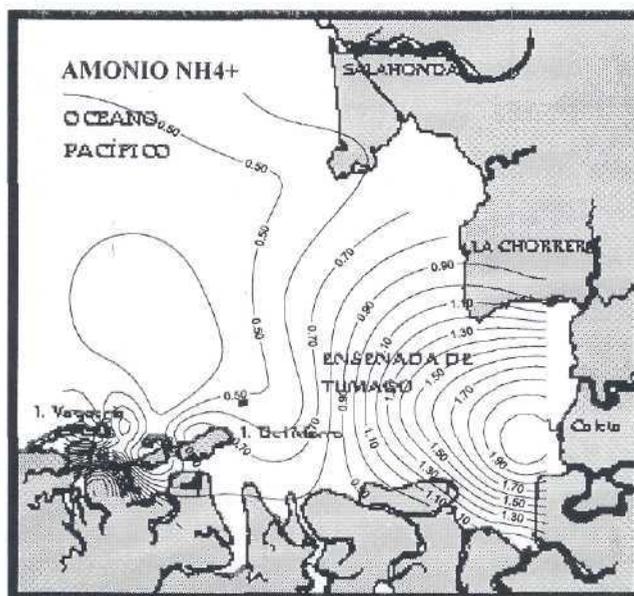


FIG.8 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE NH₄ +



El amonio sigue siendo el nutriente que se encuentra en mayor concentración en concordancia con los niveles históricos de la región; proveniente de la descomposición del material organonitrogenado que llega a la Ensenada.

Según los promedios mensuales de los diferentes nutrientes para el área, el valor más alto fue para los nitratos con 3.04 durante abril; siguiendo los promedios para el amonio durante los meses de mayo y octubre con 2.55 y 1.68 respectivamente, (tabla No. 1) el cual proviene principalmente de fermentos proteolíticos bacterianos.

Los promedios para fosfatos fueron generalmente bajos con relación al promedio obtenido para los otros nutrientes, a excepción

del valor obtenido para noviembre, que resultó lo contrario; sin embargo sus niveles oscilaron alrededor del promedio obtenido entre 1990 y 1993 (0.61 ug.át.P-PO₄/l).

En la tabla No. 2 se observan los resultados, presentados como promedios estacionales de los parámetros fisicoquímicos estudiados.

En la distribución espacial de los valores medios del amonio (NH₄⁺), se resalta **que** las mayores concentraciones se encuentran en el sector directamente influenciado por los ríos; otro sector con las mismas características se presentó en los alrededores de la bahía interna de Tumaco y el sector central de la Ensenada se caracterizó por registrar concentraciones bajas.

Tabla No. 1 Concentraciones medias mensuales para algunos parámetros fisicoquímicos, correspondiente a 26 Estaciones de Muestreo.

MES	T° H2O	TRANS	O2 DIS.	pH	SALINIDAD	NH4	NO3	NO2	PO4
FEB	29.3		5.3	8.4	22.8	1.81	0.65	0.43	0.82
MAR	29.0	1.2			26.6	1.09	0.37	0.55	0.74
ABR		1.0	4.4	7.8	25.3	1.02	3.04	1.04	0.28
MAY	29.3	1.4		7.8	29.0	2.55	1.08	0.60	0.13
JUN	29.2	1.0	3.3	7.8	21.4	0.64	0.83	0.34	0.47
JUL	29.8	1.0	4.2	8.0	21.9	0.94	1.13	0.80	0.09
AGO	30.0	1.0	3.6	8.0	22.4	0.07	0.11	0.42	0.38
SEP	29.7	0.8	3.8	7.8	23.3	0.44	0.43	0.22	0.25
OCT	29.4	1.3	3.6	7.8	22.6	1.68	0.47	0.13	0.54
NOV	29.7	0.9	4.0	7.9	24.8	0.24	0.62	0.52	0.76
DIC	29.6	0.9	2.9		24.4	0.15	0.38	0.46	0.23
PROM	29.5	1.0	3.9	7.9	24.0	0.97	0.83	0.50	0.43
MAX	30.0	1.4	5.3	8.4	29.0	2.55	3.04	1.04	0.82
MIN	29.0	0.8	2.9	7.8	21.4	0.07	0.11	0.13	0.09

Tabla No. 2 Promedios estacionales para nutrientes durante el periodo febrero/ 97 - diciembre/97

NO. Estación	PARÁMETROS			
	AMONIO	NITRATOS	NITRITOS	FOSFATOS
1	0.61	0.15	0.13	0.17
2	0.70	0.12	0.16	0.19
3	0.49	0.13	0.23	0.22
4	0.72	0.14	0.13	0.26
5	0.86	0.16	0.19	0.35
6	1.16	0.28	0.22	0.31
7	1.17	0.27	0.18	0.36
8	0.86	0.35	0.21	0.40
9	0.62	0.10	0.20	0.51
10	0.46	0.27	0.21	0.12
11	0.55	0.34	0.31	0.24
12	1.51	1.13	0.68	0.60
13	0.66	0.53	0.20	0.38
14	0.54	0.18	0.15	0.17
15	0.68	0.66	0.16	0.19
16	0.66	0.32	0.30	0.58
17	1.10	0.82	0.53	0.54
18	1.10	0.84	0.66	0.31
19	1.72	1.46	1.29	0.72
20	2.12	2.56	0.75	1.05
21	2.16	2.66	1.03	1.28
22	1.05	2.02	1.97	0.62
23	1.04	2.20	1.92	0.61
24	1.00	1.39	1.13	0.51
25	0.52	0.21	0.16	0.12
26	0.35	0.20	0.10	0.17

Oxígeno disuelto (OD) y Temperatura del agua. Los valores para el OD en el transcurso del estudio oscilaron entre 1,10 ml. O₂/l y 5,0 ml. O₂/l. El valor más bajo registrado fue para la estación El Pindo en el muestreo de junio, el cual estuvo por debajo del criterio de calidad admisible de 2,8 ml. O₂/l, establecido por el Decreto 1594/84 para agua marina y estuarina; durante este mes, otras estaciones (5, 6 y 7) ubicadas en la bahía interna, presentaron valores por debajo de este criterio. Según los promedios mensuales para el área se encontraron los máximos valores para julio y noviembre y el mínimo

para diciembre (Tabla No. 1).

La valores de temperatura del agua oscilaron entre 27,8°C y 32,0 °C; el valor promedio más alto fue registrada para el muestreo de agosto con 30,0 °C y el valor promedio más bajo registrado fue para el monitoreo de junio con 29, 2°C.

pH. Los valores en el transcurso del estudio estuvieron comprendidos entre 6,62 y 8,64 expresados en unidades de pH. Los promedios para diez muestreos oscilaron entre 7,8 y 8,3 unidades de pH, el rango más amplio de variación lo presentó el grupo de las esta-

ciones de los ríos y el promedio más estable el grupo conformado por las estaciones del área central e interna de la Ensenada.

El rango permisible para éste parámetro en agua marina y estuarina según el Decreto 1584/94 está comprendido entre 6.5 y 8.5 unidades de pH. En las mediciones de febrero fue el único mes donde se encontraron algunos valores ligeramente por encima de 8.5; el resto de valores se clasifican dentro de esta norma.

Transparencia. Aunque la medida de este parámetro en un cuerpo de agua no siempre

está relacionada con el arrastre de **material** suspendido que aportan los ríos, puesto **que** también intervienen otros factores, tales como: la dinámica, turbulencias y características morfológicas del área,

Las medidas de éste parámetro estuvieron comprendidas entre valores por debajo de los diez 0.1 metro y 4.8 metros. Caracterizándose el sector de la Caleta **por** los **mínimos valores** con sus aguas altamente turbias, resultado de la remoción de los sedimentos **por** causa del impacto de las olas y el aporte de material suspendido que arrastran varios ríos que desembocan sobre el área.

CONCLUSIONES

Las mayores concentraciones de nutrientes se encontraron en las bocanas de los ríos, debido al aporte continental; las más bajas hacia la parte central externa; la cual está influenciada **por** grandes masas de agua de origen oceánico.

El amonio (NH_4^+), fue el parámetro que se presentó con mayor frecuencia, con valores altos, los fosfatos presentaron un comportamiento inverso.

Las concentraciones de nutrientes fueron muy variables, en especial las del amonio, encontrándose los mínimos valores para el mes de agosto y los mayores en los primeros meses del estudio (febrero, marzo y abril).

En algunas estaciones se encontraron valores de oxígeno disuelto (OD), por debajo del criterio admisible para aguas marinas (2.8 ml.O₂/l.), indicando una fuerte influencia externa sobre el medio marino (contaminación de tipo orgánico).

El sector de la Caleta presenta aguas altamente turbias y las mayores concentraciones de nutrientes.

Los valores obtenidos para los cuatro nutrientes analizados se encuentran dentro de los rangos reportados en la literatura científica para aguas costeras.

RECOMENDACIONES

Debido a los niveles de contaminación por diferentes orígenes, se recomienda **que** las entidades competentes (Alcaldía Municipal, CORPONARIÑO, Capitanía de Puerto, **CCCP**,

Saneamiento Ambiental del Hospital San Andrés de Tumaco y Planteles Educativos) como también la Empresa privada, desarrollen un plan de manejo ambiental, que contenga aspectos de educación ambiental, recolección de basura, alcantarillado, reciclaje.

El CCCP debe continuar sus esfuerzos, para el monitoreo de los diferentes parámetros determinados en el presente estudio, con el fin de recopilar ya suficiente información y así poder presentar un diagnóstico que involucre los componentes básicos (química, Biológica y Bacteriológica) de la calidad de las aguas de la Ensenada de Tumaco, información fundamental para el desarrollo de un modelo de calidad de aguas.

BIBLIOGRAFÍA

- CARPENTER, E. J. and CAPONE, D. G.** Nitrogen in the Marine Environment, Academia Press INC. New York, 1983.
- FAO.** Manual of Methods in aquatic environment research. Parte 1. FAO fish. Teach. paper No. 137, 975.
- GARCÍA, F.** Elementos de Ecología Marina Editorial Acribia, Zaragoza, España, 1970. P. 83.
- MORRIS, A. W. y RILEY J. P.** 1962. The determination of nitrate in sea water. Anal. Chim. Act 29: 272-279.
- MURPHY, J. y Riley J. P.** 1952. A modified single solution method for the examination on phosphate in natural water. Anal. Chim. Acta.
- PEÑA GÓMEZ, J.J.** Un modelo de Caja aplicado al transporte de partículas y tiempo de residencia de las aguas del sector El Pindó (Ensenada de Tumaco). Boletín Científico CCCPN°5, 1995.
- REPÚBLICA DE COLOMBIA.** Ministerio de Salud, Decreto 1594 de 1984 Disposiciones Sanitarias sobre aguas.
- RILEY, J.P.** 1953. The spectrophotometric determination of ammonia in natural water with particular reference to sea-water Anal. Chim. Acta Vol 9: 575-589.
- STANDARD METHODS.** For the examination of water and wastewater, Fifteenth Edition, 1981.
- STRICKLAND, J.D. y. PARSONS T.R.** 1968. A practical handbook of seawater analysis. Fish. Res. Board of Canadá. Segunda Edición. Otawa.
- TAIT, R.V.** 1970. Elementos de Ecología Marina. Editorial Acribia, Zaragoza, España.