

Valoración de algunas variables fisicoquímicas indicadoras de la calidad del agua en las principales bahías de la costa Pacífica colombiana–2009

Some physicochemical variables valuation indicative of quality water in main Colombian Pacific bays - 2009

Fecha de recepción: 2015-05-15 / Fecha de aceptación: 2015-08-21

Róbinson Fidel Casanova-Rosero¹, Nigereh Paola. Suárez-Vargas², Mónica María Zambrano-Ortiz³

Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCP). Área Protección al Medio Marino. Vía El Morro- Capitanía de Puerto, Tumaco-Nariño, Colombia. Tel: +57 (2) 727 26 37. Correo electrónico: rcasanova@dimar.mil.co¹, nsuarez@dimar.mil.co², mzambrano@dimar.mil.co³.

Casanova-Rosero, R.F., Suárez-Vargas, N.P. y Zambrano-Ortiz, M.M. Valoración de algunas variables fisicoquímicas indicadoras de la calidad del agua en las principales bahías de la costa Pacífica colombiana–2009. Bol. Cient. CIOH 2015, 33: 195–214.

RESUMEN

Se realizó una valoración de la calidad fisicoquímica del agua con base en dos muestreos ejecutados en el año 2009 en las bahías de Tumaco, Buenaventura y Málaga, las más importantes del Pacífico colombiano. En estos ecosistemas estuarinos se presentan fuertes interacciones entre aguas de origen oceánico y de ríos, las cuales se pronuncian con las épocas climáticas y fenómenos de acción global; así mismo, exhiben complejos procesos biogeoquímicos que interactúan con la hidrodinámica, ecosistemas circundantes, condiciones meteorológicas, morfodinámica, actividades antrópicas, época climática y mareas, entre otros. Como consecuencia de la interacción de estos factores y fenómenos se confirmó que la variabilidad espacial de los niveles para algunas variables fisicoquímicas evaluadas como oxígeno disuelto, salinidad, pH y transparencia, aumentan gradualmente desde la desembocadura de los ríos hacia mar adentro; comportamiento contrario al presentado por los nutrientes, la clorofila-a, los sólidos suspendidos y la DBO5. Los índices de eutroficación determinados permitieron catalogar a las bahías estudiadas como ecosistemas oligotróficos para fosfatos; sin embargo, durante el período de marea baja algunos sectores como la estación 1, en Isla Cascajal en Buenaventura, y las estaciones 3, 8, 20 y 23, ubicadas hacia el interior de la bahía de Tumaco, exhibieron características de ecosistemas mesotróficos; mientras que la estación 23 de esta última, presentó características hipertróficas para la suma de nitritos y nitratos. Para el período de marea alta, las concentraciones de los nutrientes evaluados generalmente disminuyeron, comportamiento asociado con el proceso de dilución, tornándoles características oligotróficas.

PALABRAS CLAVES: calidad del agua, nutrientes, parámetros fisicoquímicos, bahías del Pacífico colombiano, índices tróficos.

ABSTRACT

An assessment of the quality of the water was made based on two monitoring carried out in 2009 in the Tumaco, Buenaventura and Malaga bays, which constitute the most important of the Colombian Pacific; in these estuarine ecosystems strong interactions occur between waters of oceanic origin and rivers, which are pronounced with climatic periods and phenomena of global action, likewise exhibit complex biogeochemical processes that interact with hydrodynamics, surrounding ecosystems, meteorological conditions, morphodynamics, anthropogenic activities, climatic period and tides, among others. As a result of the interaction of these factors and phenomena, it was confirmed that the spatial variability of levels for some physicochemical parameters evaluated as dissolved oxygen, salinity, pH and transparency, its increase gradually from the mouths of rivers seaward, behavior contrary to that presented by nutrients, chlorophyll a, the suspended solids and BOD5. The eutrophication indices for calculated phosphates, permitted to classify the bays as oligotrophic ecosystems; however, during the low tide some sectors such as station 1 in Cascajal island in Buenaventura and station 3, 8, 20 and 23 located into the Tumaco bay, exhibited characteristics of mesotrophic ecosystems, while in the station 23 was presented hypertrophic features for the sum of nitrite and nitrate. For the period of high tide, concentrations generally decreased nutrients, associated with the dilution behavior turning oligotrophic characteristics.

KEYWORDS: water quality, nutrients, physicochemical parameters, Pacific Colombian bays, trophic indices.

INTRODUCCIÓN

Entre los principales problemas que afectan la calidad del agua en los ecosistemas estuarinos del Pacífico colombiano se encuentra el relacionado con el aporte de nutrientes provenientes de fuentes terrestres que aportan sustancias alóctonas; es así como se destacan especialmente sobre las áreas de Buenaventura y Tumaco, vertimientos de aguas residuales domésticas (ARD) y residuos de la industria pesquera y agrícola, que generalmente se realizan sin ningún tipo de tratamiento; perturbando el equilibrio de producción y consumo de materia y energía en dichos ecosistemas [1].

Las bahías estudiadas pueden considerarse ecosistemas con alta morfodinámica, transición e influencia entre el continente y el océano; donde los procesos de producción, consumo e intercambio de materia y energía se efectúan con una extraordinaria intensidad, por ende brindan una gran cantidad y variedad de recursos para satisfacer las necesidades socioeconómicas, no solo de la población costera, sino también de las ciudades del interior del país. Desde este punto de vista, su aprovechamiento armónico debe ser una prioridad para garantizar su sustentabilidad ambiental.

Es de gran significancia que un cuerpo de agua cuente con una buena calidad, pues la misma le permitirá brindar la protección y conservación a la vida soportada por estos ambientes. La calidad del agua está determinada por la cantidad de solutos y gases disueltos, como también por el material suspendido y flotante. En sí, es una consecuencia de su naturaleza física, química y microbiológica, ya sea por efectos naturales y/o antrópicos.

Son muchas las variables que pueden contribuir a evaluar la calidad del agua en ecosistemas acuáticos costeros; en general, son determinantes los niveles de oxígeno disuelto (OD), nutrientes, turbidez, pH, sólidos, materia orgánica, temperatura, salinidad; estos interactúan con factores como la velocidad y dirección de las corrientes, y las condiciones meteorológicas que afectan el comportamiento de las sustancias presentes en dichos ambientes.

La calidad del agua puede ser evaluada con base en la estimación de índices de calidad que engloban varios parámetros en su mayoría fisicoquímicos y en algunos casos microbiológicos,

que permiten reducir la información a una expresión sencilla conocida como índices de calidad del agua [2]. Estos índices son de uso común, consideran un número diverso de parámetros, los cuales incluyen al menos tres de las siguientes variables: OD, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), nitrógeno en forma amoniacal y de nitratos, fósforo en forma de ortofosfato, pH y sólidos suspendidos, para generar un valor adimensional de fácil interpretación.

Es así como los índices se constituyen en una herramienta útil para la evaluación rápida en programas de monitoreo de la calidad del agua, permitiendo identificar problemas, plantear e implementar soluciones en pro de la conservación y sostenibilidad de estos ecosistemas, como también evidenciar si las iniciativas de gestión utilizadas en proyectos para mejorar la calidad del agua son eficaces.

Durante el año 2009 el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCP) realizó dos monitoreos en las tres principales bahías del Pacífico colombiano, con el propósito de evaluar algunas variables fisicoquímicas indicadoras de la calidad del agua.

ÁREA DE ESTUDIO

Las bahías de Tumaco, Buenaventura y Málaga (Figura 1) se catalogan como ecosistemas estuarinos complejos, debido a sus geometrías irregulares, cambios en anchura y profundidad, variación en el relieve del fondo marino, flujo bidireccional, flujos de agua dulce, flujo salino aguas arriba, gradientes de densidad entre las aguas dulce y salina, aportes por vertimientos de ARD e industriales, lechos aluviales donde factiblemente los sedimentos pueden resuspenderse por acción del oleaje producido por las corrientes superficiales y refracción de olas, entre otros [1].

Bahía de Buenaventura

Situada al occidente de Colombia, en el departamento del Valle del Cauca, tiene un área aproximada de 250 km². Su posición geográfica es 03°57'08"N y 77°00'51"W, presenta una profundidad media de 10 m. Recibe aguas de los ríos Potedó, Dagua y Anchicayá, con caudales para estos dos últimos de 66 y 98 m³/s, respectivamente [3]. En la zona la precipitación media anual fluctúa entre 6821 y 7673.6 mm (Estación de Colpuertos y Aeropuerto

Buenaventura, período 1981-2001 [4]. Allí se encuentra la Isla Cascajal, la cual concentra las actividades comerciales y administrativas del municipio de Buenaventura. En esta bahía se monitorearon ocho estaciones distribuidas a lo largo y ancho de la misma (Figura 1).

Bahía de Tumaco

Ubicada en el departamento de Nariño, en el sur occidente colombiano, delimitada por latitudes $1^{\circ}45'00''$ y $2^{\circ}00'00''$ N y longitudes $78^{\circ}30'00''$ y $78^{\circ}45'00''$ W. Presenta una temperatura variable entre 16 y 28°C . La bahía recibe aguas residuales de la población y aguas de los ríos Curay, Chagüí, Colorado, Tablones, Mejicano, Rosario, Mira y Patía, los cuales aportan residuos de las comunidades ribereñas y una gran cantidad de material en suspensión que alteran la calidad del agua. La ubicación de

la estaciones de monitoreo en la bahía permiten reflejar la influencia oceánica, continental y antrópica (Figura 1).

Bahía Málaga

Ubicada en el Pacífico Oriental Tropical (POT), entre los $3^{\circ}56'$ y $4^{\circ}05'N$ y los $77^{\circ}19'$ y $77^{\circ}21'W$ (Figura 1). Los principales hábitats que se encuentran en la bahía son playas arenosas, rocosas y fangosas, acantilados y extensos bosques de manglar. La diversidad de esos paisajes contribuye a la presencia de distintos grupos biológicos [5]. La bahía fue formada por lagunas de erosión con amplias depresiones de erosiones fluviales al bajar el nivel del mar durante la última glaciación e inundadas por transgresiones durante el Holoceno y modificados posteriormente por procesos secundarios de bioerosión [6].

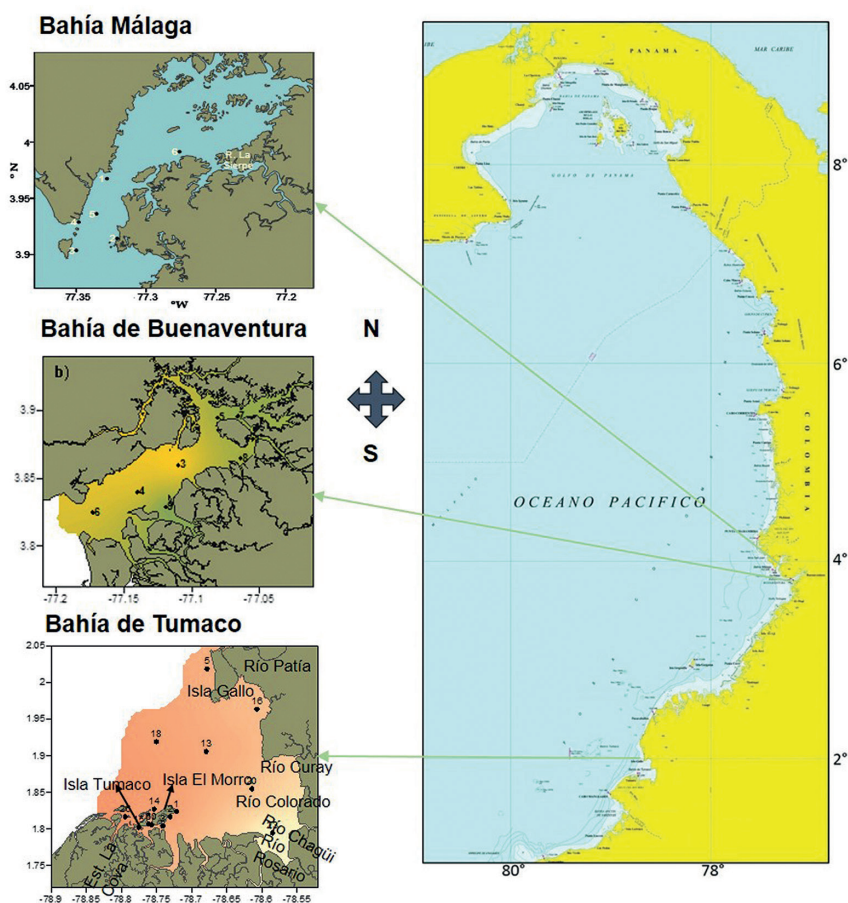


Figura 1. Estaciones de monitoreo en las principales bahías del Pacífico colombiano.

METODOLOGÍA

Se realizaron dos muestreos en las bahías de Tumaco, Buenaventura y Málaga, cubriendo las dos épocas climáticas del año. En cada uno de ellos se recolectaron muestras superficiales para los períodos de marea alta y baja; con el fin de medir las variables concernientes a pH, salinidad, temperatura, transparencia, sólidos suspendidos, nutrientes (amonio, nitritos, nitratos, fosfatos y silicatos), OD y DBO₅. El primer muestreo se realizó para la bahía de Tumaco los días 2 y 3 de febrero, en Bahía de Málaga el 9 de marzo y en la bahía de Buenaventura el 11 de marzo; el segundo muestreo tuvo lugar los días 1 y 2, 24 y 26 de septiembre, respectivamente.

Las muestras de agua fueron tomadas empleando botellas Niskin, luego transvasadas a recipientes de 3.7 L, refrigeradas y transportadas al Laboratorio de Química del CCCP para sus análisis respectivos. Las muestras para determinación de clorofila-a fueron filtradas y los extractos protegidos con papel aluminio y congelados a -20°C, hasta su tratamiento analítico. Éstas fueron analizadas aplicando procedimientos validados en el Laboratorio de Química del CCCP así: la medición de pH y la salinidad se realizó por medio de un multiparámetro WTW (modelo 340i/set) siguiendo los métodos Potenciométrico y Conductimétrico del *Standard Methods* [7]. Las determinaciones de OD y DBO₅ se realizaron

con base en el método clásico Winkler (1888), revisado por Carpenter [8]. La temperatura y la transparencia fueron medidas *in situ* utilizando un termómetro de cazoleta y un disco Secchi, respectivamente. La determinación de amonio se realizó siguiendo el método del azul de indofenol [9, 10]; los fosfatos por el método del ácido ascórbico [11, 12]; los nitritos a través del método colorimétrico fundamentado en la reacción del ion nitrito con sulfanilamida en medio ácido [13, 14] y los nitratos por el método colorimétrico de reducción con Cd-Cu [10]. Así mismo, se tuvieron en cuenta las recomendaciones descritas en el *Standard Methods* [7].

La información obtenida se analizó empleando el programa Surfer 8 para observar la distribución espacial de las diferentes variables en las bahías estudiadas. Para evaluar los niveles de algunas variables se tomaron como referencia los criterios nacionales, establecidos en el Decreto 1594/84 del Ministerio de Salud de la República de Colombia y los internacionales como los referenciados por la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, por sus siglas en inglés). Los índices de eutrofización para cada uno de los puntos de monitoreo en las áreas estudiadas se estimaron según la ecuación matemática que involucra las concentraciones de cada nutriente en cada punto de muestreo, propuesta por [15, 16], que tiene aplicabilidad en varios tipos de aguas.

El índice trófico (I) se calculó por medio de la ecuación (1):

$$I = \frac{C}{C - \log x} + \log A \quad (1)$$

Donde,

I es el índice trófico.

C es la suma total del nutriente en el total de estaciones.

x es la suma total de la concentración del nutriente para la estación.

A es el número de estaciones.

De tal forma que los valores obtenidos permiten clasificar los ecosistemas en las categorías a saber: mayor a 5 representa un estado altamente eutrófico; entre 3 y 5 mesotrófico, y menor a 3 oligotrófico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las bahías de Tumaco, Buenaventura y Málaga son ecosistemas estuarinos en donde se conjuga

una mezcla compleja de factores asociados con cambios periódicos en los ciclos maréales y con frecuentes fenómenos meteorológicos que conllevan a una variabilidad permanente en

las condiciones hidroquímicas en las diferentes escalas de tiempo y espacio. No presentan problemas de contaminación como consecuencia del enriquecimiento de nutrientes que conducen a la eutrofización, sin embargo, en las bahías de Tumaco y Buenaventura se registraron condiciones de hipertrofia, en forma puntual en tiempo y espacio a través del presente estudio.

Transparencia

La bahía de Tumaco se caracteriza por presentar aguas de menor transparencia hacia el sector oriental debido a la influencia del aporte de materiales procedentes de escorrentías, ríos y pigmentos liberados de la vegetación

circundante, asociada a bosques de manglar; y mayor transparencia hacia la parte externa (Figura 2). Es así como los valores determinados para este parámetro variaron entre 0.4 y 4 m, con un promedio de 1.6 y de 1.9 m para el período de marea baja y alta, respectivamente.

En la bahía de Buenaventura la transparencia varió entre 0.2 y 2.5 m, presentando valores promedio de 0.6 y 1.3 m para marea baja y alta, respectivamente. El nivel más bajo durante el primer muestreo se presentó en la estación 8 con 0.2 m, durante la fase de marea baja; esto se asocia al aporte de materiales transportados a través del río Dagua como consecuencia de la intensa actividad aurífera que se presenta en su cuenca (Figura 3).

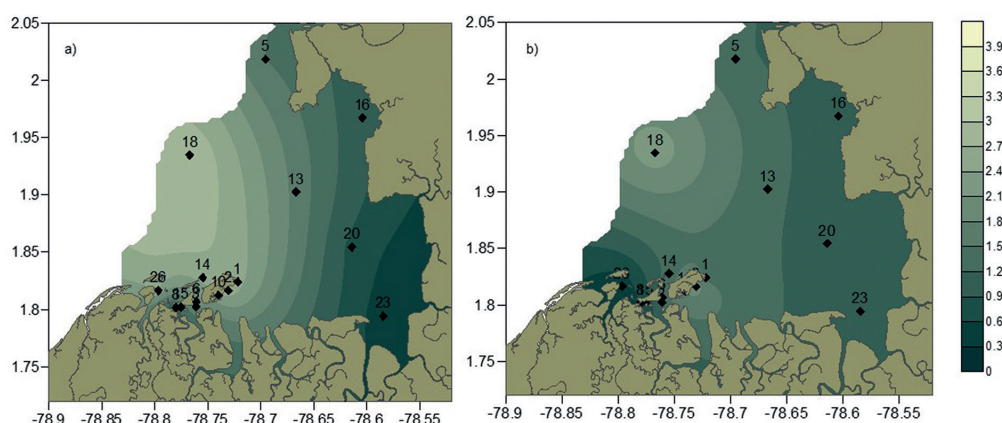


Figura 2. Comportamiento espacial de la transparencia (m) para la bahía de Tumaco, durante el primer monitoreo: **a)** marea alta y **b)** marea baja.

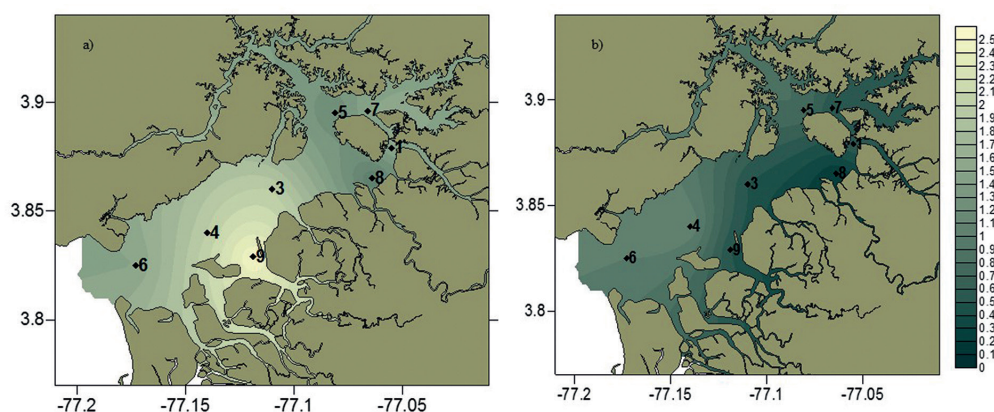


Figura 3. Comportamiento espacial de la transparencia (m) en la bahía de Buenaventura, durante el segundo monitoreo: **a)** marea alta y **b)** marea baja.

Bahía Málaga presentó una mayor transparencia con relación a la observada en la bahía de Buenaventura. El valor promedio con base a los dos muestreos fue de 1.8 m y la variación estuvo entre 0.5 y 3.5 m. Uno de los factores que afecta la transparencia en el área se asocia con las condiciones meteorológicas y la hora del día, por tal razón el promedio para

el primer muestreo en el período marea alta fue de 2.5 y de 1.4 m para el mismo período durante el segundo muestreo (Figura 4), observándose así una disminución del 79 %; en donde parte de esta variabilidad obedece a que el primer muestreo se realizó después del mediodía y el segundo a tempranas horas de la mañana.

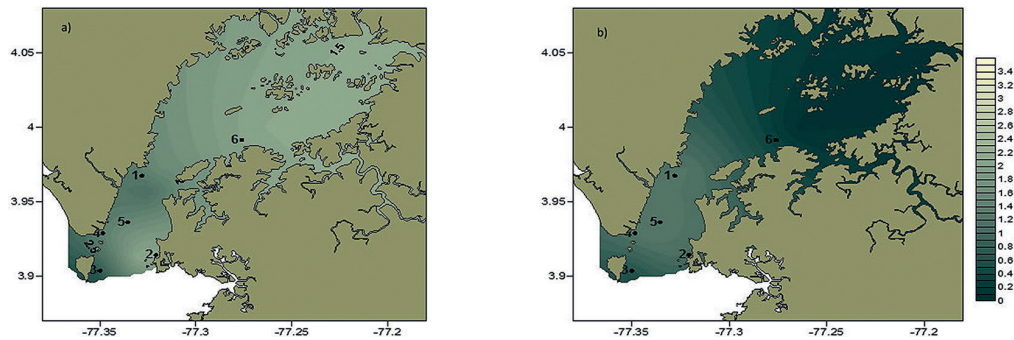


Figura 4. Comportamiento espacial de la transparencia (m) en Bahía Málaga: **a)** marea alta, primer monitoreo y **b)** marea alta, segundo monitoreo.

Salinidad

La bahía de Tumaco se caracterizó por presentar una alta variabilidad espacial de este parámetro, donde el patrón de distribución muestra una dependencia directa en función de la altura de la marea, los valores se encontraron entre 2.3 y 30.9. Así mismo, se establece que los máximos valores de salinidad se presentan en las estaciones de mayor influencia oceánica, en tanto que los mínimos valores se presentan

hacia el sector adyacente a las desembocaduras de los ríos Rosario, Mexicano y Tablones (estación 23), y en la boca del estero La Coba (brazo del río Mira - estación 26) (Figura 5). La salinidad en la bahía de Tumaco dentro de las series talásicas presentó un comportamiento que comprende niveles desde oligohalina (0.5 a 5), pasando por mesohalina (5 a 18) hasta polihalina (18 a 30), e incluso alcanzando en ciertos puntos externos características de mixoeuhalina (30 a 40).

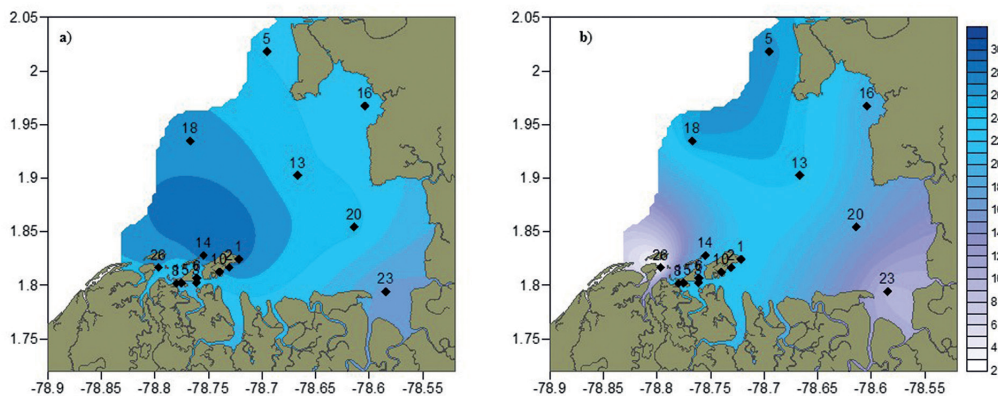


Figura 5. Comportamiento espacial de salinidad en la bahía de Tumaco durante primer monitoreo: **a)** marea alta y **b)** marea baja.

La distribución espacial característica de la salinidad para la bahía de Buenaventura se presenta en la (Figura 6). Los valores registrados a través de los dos muestreos variaron entre 4.5 y 24.1, con un promedio

de 13.4 en marea baja y de 16.3 en alta, reflejándose el aporte de los ríos Anchicayá, Dagua y Potedó. El promedio global fue de 17.6 y de 11.7 para el primer y segundo muestreo, respectivamente.

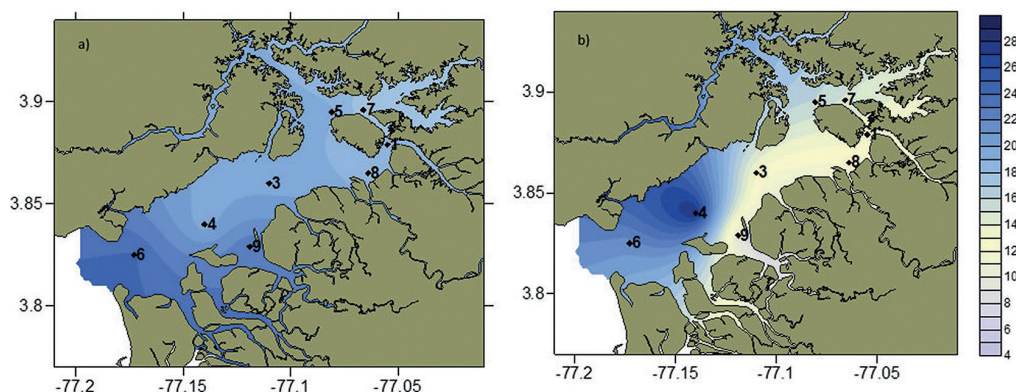


Figura 6. Comportamiento espacial de la salinidad en la bahía de Buenaventura durante el primer monitoreo: **a)** marea alta y **b)** marea baja.

El comportamiento espacial para Bahía Málaga se presenta en la (Figura 7), en ella se observó durante marea alta que las isolíneas de masas de agua oceánicas se proyectan desde la parte externa hacia la parte interna (La Sierpe) de la

bahía, con un comportamiento inverso durante marea baja. Los valores de salinidad variaron entre 18.3 y 28.1, con un promedio de 26.5 para el primer muestreo y de 23.1 para el segundo monitoreo.

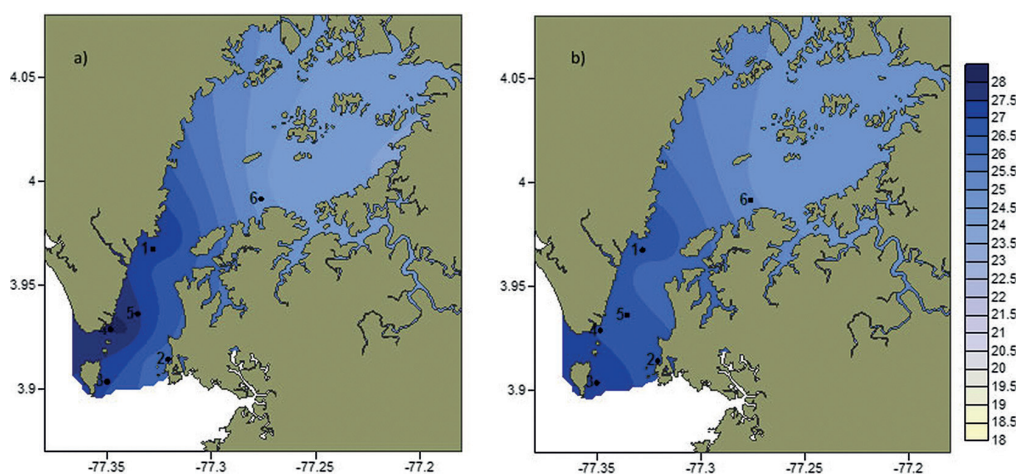


Figura 7. Comportamiento espacial de la salinidad en Bahía Málaga durante primer monitoreo: **a)** marea alta y **b)** marea baja.

Temperatura superficial (TS) del agua

Para la bahía de Tumaco los registros de la TS durante los dos muestreos variaron entre 23.5 y 31.0°C. El valor promedio fue de 27.5°C para el primer monitoreo y de 28.6°C, para el segundo, indicando temperaturas más bajas durante el primer muestreo, siendo consistentes con el tipo bimodal de lluvias característico de la bahía; según el cual durante el primer semestre del año se considera temporada de invierno. Así mismo, influenciada con la entrada de aguas oceánicas de temperaturas más bajas que provienen del frente ecuatorial de transición, fenómeno que se manifiesta especialmente durante los meses de diciembre a abril y de mayo a junio [17, 18]. En tanto que durante el segundo semestre los valores fueron mayores debido a que, generalmente, las lluvias disminuyen. Los valores más altos de temperatura se presentan hacia el borde costero, independientemente del período mareal.

En la bahía de Buenaventura la TS a través de los dos muestreos varió entre 26 y 31°C. El promedio para el primer muestreo durante marea alta fue de 27.6 y de 28.3°C para el segundo, pese a que el primer muestreo se realizó después del mediodía, donde se esperaría que la temperatura del agua sea mayor tras haber absorbido gran parte del calor y radiación del día; corroborando que durante el primer muestreo llegaron aguas más frías y con mayor salinidad con relación al segundo.

En Bahía Málaga la TS a través de los dos monitoreos varió entre 26.0 y 31.0°C con un

promedio de 28.3°C. Este es un parámetro que en el área depende netamente de las condiciones meteorológicas y hora del día. El valor promedio obtenido para marea alta durante el primer monitoreo fue de 28.0 y de 27.5°C para el segundo, sin mostrar una diferencia importante; sin embargo, se resalta que este último se realizó en jornadas de la mañana y por lo tanto la hora del día y la época del año son condiciones que afectan la temperatura del agua en la zona.

pH

Para la bahía de Tumaco el pH varió entre 6.92 y 8.43, incluyéndose dentro del intervalo comprendido entre 6.5 y 8.5 establecido como criterio de calidad admisible para la destinación del recurso, para la preservación de flora y fauna en aguas marinas o estuarinas, según el Decreto 1594 de 1984 [19]. A través del tiempo el comportamiento espacial del pH siempre ha registrado valores más bajos en cercanía a la desembocadura de los ríos, puesto que en estos sitios se pronuncia la formación de ácido carbónico, como producto de la reacción entre las moléculas de agua y de dióxido de carbono (CO₂) generado de la degradación de materiales orgánicos que llegan a través de los ríos, aunado a las temperaturas más altas en dichos sectores. En contraste, hacia la región externa la influencia del agua oceánica con características buffer conlleva a que el pH sea ligeramente más alto, favorecido con temperaturas ligeramente más bajas, por ende más estable y con mayor homogeneidad.

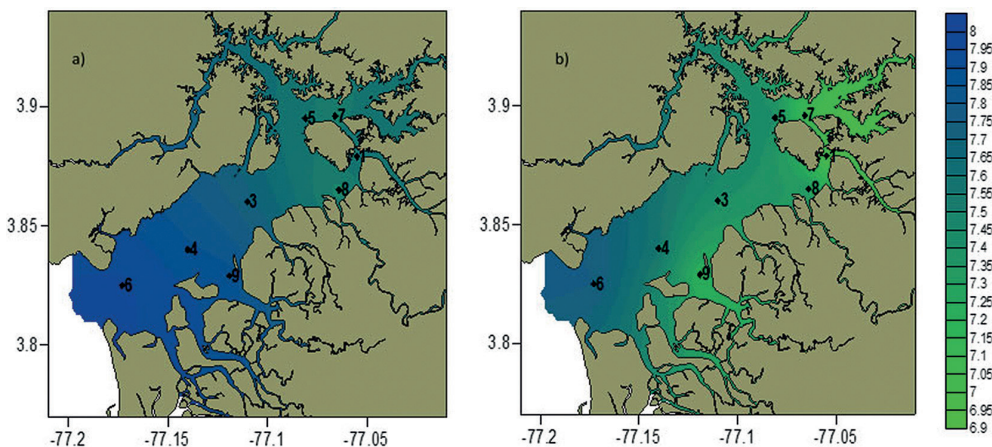


Figura 8. Comportamiento espacial del pH en la bahía de Buenaventura en el primer monitoreo: **a)** marea alta y **b)** marea baja.

En la bahía de Buenaventura el pH estuvo entre 6.98, registrado en la estación 1 ubicada en el sector Copescol, y 7.96 obtenido en la estación 6 con mayor interacción oceánica; sin embargo, la marcada diferencia en la estación 1 puede obedecer a un fuerte proceso de transformación o mineralización de la materia orgánica vertida a través de las ARD, propiciando una alta DBO_5 y bajo nivel de OD. En este aspecto las masas de agua oceánicas fuertemente tamponadas con valores de pH cercanos a 8, a medida que se aproximan a la Isla Cascajal se mezclan con aguas internas de la bahía y adquieren un pH ligeramente ácido (Figura 8).

En Bahía Málaga el pH durante los monitoreos estuvo entre 7.80 y 8.19, connotando una

variabilidad mínima entre los períodos mareales, específicamente en el área comprendida desde la estación 1, ubicada frente a la Base Naval de Málaga hacia el exterior de la Bahía; no obstante, en el área durante una misma fase de marea se presentó una ligera variabilidad espacial con valores comprendidos entre 8.15, obtenido en la estación 3 ubicada en la zona más externa, y 7.80, medido en la estación 6 hacia el sector de La Sierpe ubicada en el interior de la bahía, constituyéndose en el menor valor como resultado del aporte de aguas y la transformación de materiales de origen continental que conllevan a una disminución del pH, como se refleja en la Figura 9 correspondiente al comportamiento espacial de esta variable para Bahía Málaga durante el segundo muestreo.

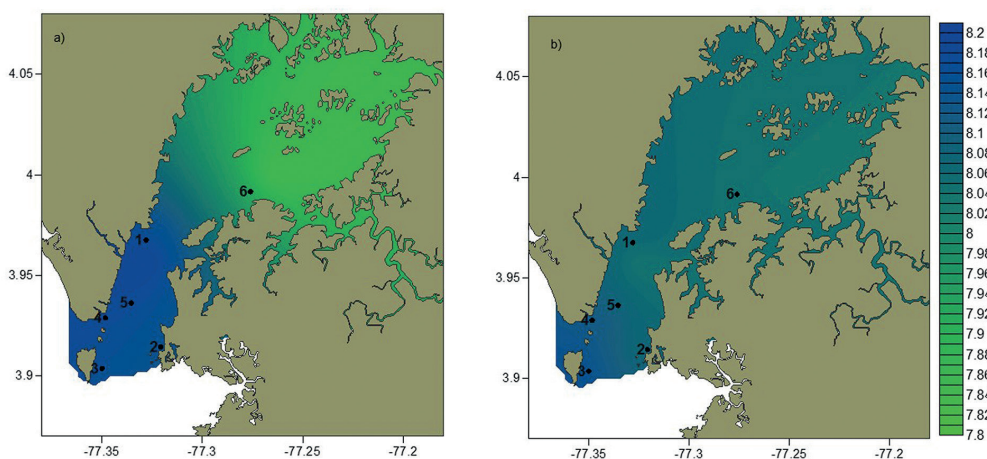


Figura 9. Comportamiento espacial del pH a nivel superficial en Bahía Málaga durante el segundo monitoreo: **a)** marea alta **b)** marea baja.

Sólidos Suspendidos (SS)

En la bahía de Tumaco las fuentes de SS radican en el aporte antropogénico y la carga transportada a través de ríos que desembocan en ella. Es así como los ríos Mexicano, Tablones, Rosario y Colorado, ubicados hacia el interior de la bahía, aportan una carga de sólidos suspendidos de alrededor de 4.3324×10^5 tn/año [1], y por ende las concentraciones más altas se encuentran en áreas adyacentes a las desembocaduras de los mismos. También puede ocurrir que por efectos de turbulencias y oleaje se presente remoción de materiales desde el fondo, como se da en el sector contiguo a las estaciones 20 y 23 en

donde se forman bancos de arena que durante el período de marea baja quedan descubiertos y cuando la marea sube conlleva a una remoción de estos materiales; constituyéndose como medio de soporte para la adsorción y deposición de posibles sustancias contaminantes desde la columna de agua hacia los sedimentos superficiales y en algunos casos como sumideros del OD.

Las concentraciones de SS determinadas a través de los dos monitoreos variaron entre 3.2 y 40.0 mg/l. La aglomeración en el tiempo de estos materiales transforma continuamente la morfodinámica costera de la bahía.

En la bahía de Buenaventura, los ríos Anchicayá, Potedó y Dagua son considerados como las principales fuentes de transporte de SS provenientes de la erosión en sus respectivas cuencas. Una vez ingresados a la bahía, el destino de los SS queda condicionado a las corrientes internas. En este sentido, acogiendo que el patrón de la salinidad se relaciona estrechamente con la dirección de las corrientes, se tiene que durante el periodo de marea entrante las

corrientes se proyectan con un vector principal hacia el noroeste de la Isla Cascajal (Figura 10a) y por ende los SS se muevan hacia el sector del estero Aguacate (Figura 11a). De forma análoga, durante el periodo de marea saliente, las corrientes se proyectan hacia la parte externa de la bahía (Figura 10b), transportando los SS con una fuerza tangencial dirigida hacia los esteros adyacentes a la desembocadura de los ríos Potedó y Anchicayá (Figura 11b).

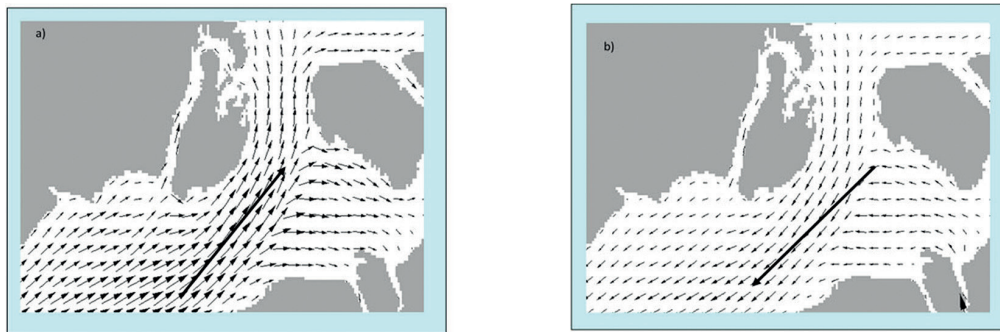


Figura 10. Patrón de corrientes para la bahía de Buenaventura: **a)** marea subiendo y **b)** marea bajando. Fuente: [20].

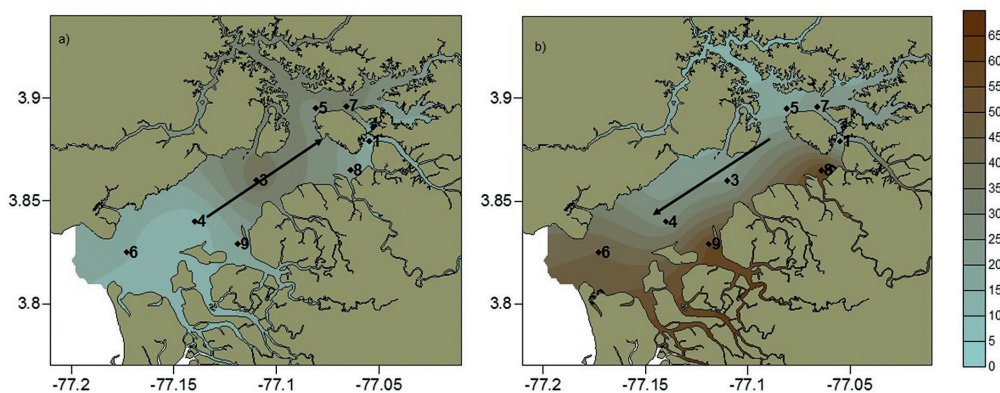


Figura 11. Comportamiento de la concentración de sólidos en suspensión (mg/l) en la bahía de Buenaventura: **a)** marea alta segundo - monitoreo y **b)** marea baja - primer monitoreo.

Los SS en la bahía variaron entre <3 y 56.9 mg/l, mostrando un comportamiento igual al obtenido para la bahía de Tumaco, consistente en una relación inversa con la altura de la marea.

Para Bahía Málaga los valores de SS durante los dos muestreos fueron muy similares y

variaron entre 8.20 y 38.17 mg/l, con un promedio general de 19.26 mg/l. En el área las concentraciones fueron menores con relación a los valores obtenidos en las bahías de Tumaco y Buenaventura, dado que en ésta no se presentan fuentes externas importantes como ríos y asentamientos humanos en su borde costero

que, generalmente, contribuyen con el aporte de estos materiales. En la bahía como en otras áreas las concentraciones de estos materiales pueden

alterarse como consecuencia de turbulencias puntuales, generando una distribución espacial irregular (figuras 12a y 12b).

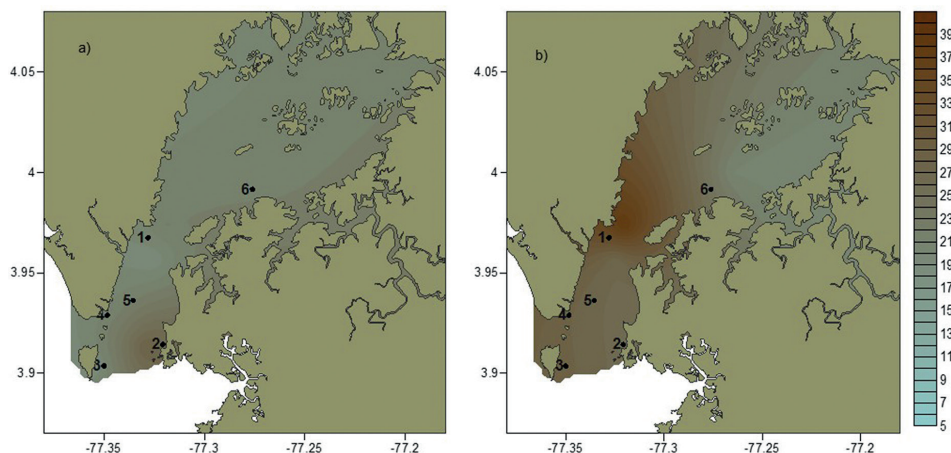


Figura 12. Comportamiento de la concentración de sólidos en suspensión (mg/l) en Bahía Málaga: **a)** marea baja y **b)** marea alta - primer monitoreo.

Oxígeno Disuelto (OD)

Niveles de OD por encima de 4 mg O_2/L favorecen las condiciones óptimas para el desarrollo de especies marinas, mientras que niveles entre 1 y 3 mg O_2/L indican condiciones de hipoxia, perjudiciales para la vida marina, y niveles por debajo de 1 mg/l indican anoxia, una condición que ningún organismo que requiera de oxígeno puede soportar [21].

El OD en la bahía de Tumaco presenta una alta dinámica, el promedio registrado para el primer muestreo fue de 6.10 mg O_2/L y para el segundo

de 6.15 mg O_2/L , siendo muy similares. La máxima diferencia en los niveles de OD durante los dos períodos de marea se encontró durante el segundo muestreo en la estación 8 ubicada en el sector del puente El Pindo, donde para marea baja el OD disminuyó en un 56.8 % con relación al valor de 6.10 mg O_2/L determinado en marea alta y, por consiguiente, cayendo por debajo del mínimo permitido de 4.0 mg O_2/L establecido en el Decreto 1594/84 [19]. Esto obedece a la demanda de oxígeno por parte de los residuos de madera sedimentados en el sector. En las demás estaciones no se presentó una diferencia marcada del OD entre los períodos de marea.

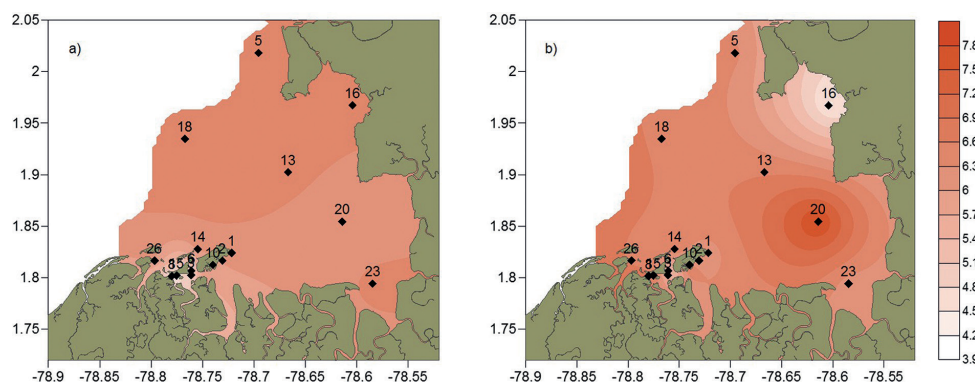


Figura 13. Comportamiento espacial de la concentración de OD (mg O_2/L) en la bahía de Tumaco: **a)** marea alta y **b)** marea baja - primer monitoreo.

En la bahía de Tumaco los niveles de OD también son alterados como consecuencia de la actividad fotosintética. En esta ocasión se observó una clara evidencia de esta relación en el primer muestreo para las estaciones 8 y 15 (figuras 13a y 13b), donde los niveles de OD en marea baja superaron a los obtenidos en marea alta, situación que no es característica en el área; sin embargo, la explicación a este hecho se puede asociar con el oxígeno producido por la actividad fotosintética, tras encontrarse en dichas estaciones una relación de los niveles de clorofila-a de 6.9:1 (estación 8) y de 3.5:1 (estación 15), entre marea baja y alta.

En la bahía de Buenaventura el OD varió entre 3.21 y 6.82 mg O₂/L, superando el valor de

3 mg O₂/L y descartando condiciones de hipoxia. Los promedios generales fueron similares con 5.52 mg O₂/L y 5.82 mg O₂/L para el primer y segundo monitoreo, respectivamente. Conllevando a un promedio general de 5.77 y 5.59 mg O₂/L para marea alta y baja.

El valor más bajo obtenido fue de 3.2 mg O₂/L y se registró en la estación 1 (Copescol) el cual corrobora que sobre el sector se presentan procesos de consumo más pronunciados con relación a las otras estaciones, generando cambios apreciables en OD y por consiguiente en el pH. Este valor estuvo por debajo del criterio de calidad admisible (4.0 mg/l) para la destinación del recurso para la preservación de flora y fauna en aguas marinas o estuarinas.

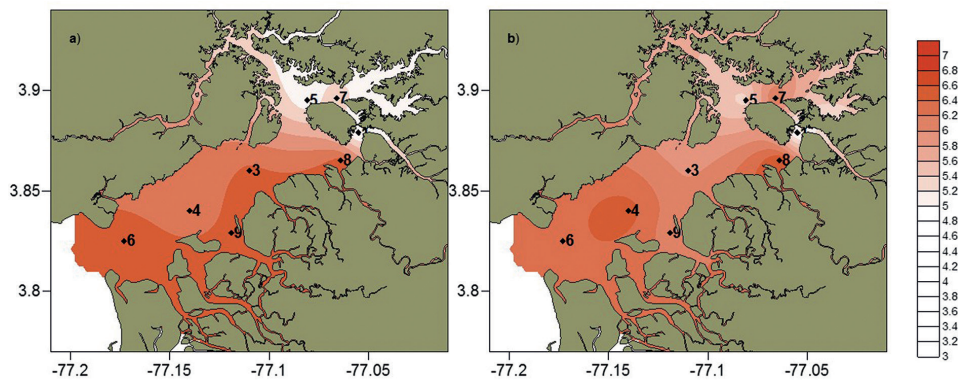


Figura 14. Comportamiento espacial de la concentración de OD (mg O₂/L) en la bahía de Buenaventura: **a)** marea baja y **b)** marea alta - segundo monitoreo.

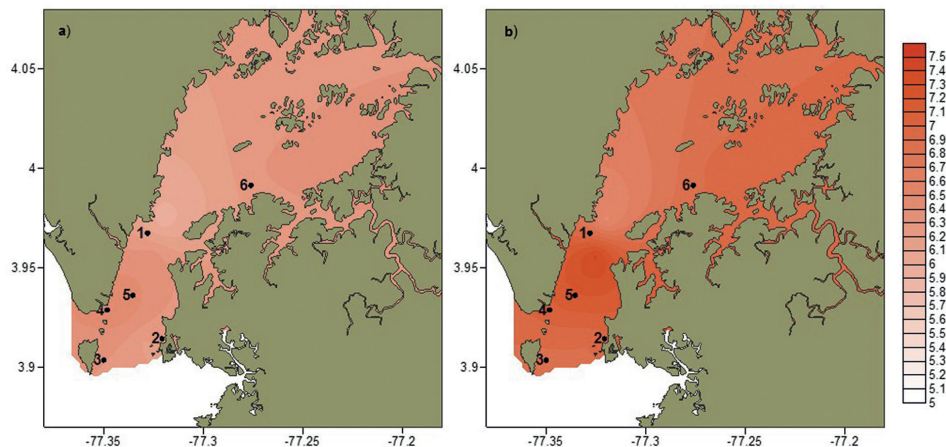


Figura 15. Comportamiento espacial de la concentración de OD (mg O₂/L) en Bahía Málaga: **a)** marea baja y **b)** marea alta - primer monitoreo.

En las estaciones adyacentes a la Isla Cascajal los valores de OD fueron más bajos con relación a los presentados en las estaciones de mayor influencia oceánica (figuras 14a y 14b).

En Bahía Málaga las concentraciones de OD a través de los dos muestreos variaron entre 5.66 y 7.43 mg O₂/L, con un promedio general de 6.45 mg O₂/L, superando el nivel establecido en el Decreto 1594 de 1984 [19]. Los valores de OD encontrados no mostraron una diferencia marcada, reflejando un fuerte proceso de mezcla en la bahía (figuras 15a y 15b).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

En la bahía de Tumaco el valor más alto para la DBO₅ se presentó en la estación 8 con 3.11 mg O₂/L durante el primer muestreo; así mismo se corrobora que los niveles más altos para esta variable se presentaron durante marea baja, como consecuencia de un aumento de la concentración de las sustancias que llegan a la bahía y por ende en las estaciones de influencia directa de vertimientos de ARD y/o descargas de ríos. Los valores para la DBO₅ superaron ligeramente el límite 2.0 mg O₂/L, establecido como máximo para estuarios no contaminados [22, 23], aunque otros organismos referencian un nivel máximo de 5 mg O₂/L [24].

En la bahía de Buenaventura la DBO₅ a través de los dos monitores varió entre ≤0.26 y 2.18 mg O₂/L, con un máximo en la estación 1 para el período de marea baja durante el

segundo muestreo. La estación 1 (Copescol) se ubica en medio del estero San Antonio, fuente importante de materiales orgánicos hacia la bahía, hecho que implica que se encuentren las concentraciones más altas.

En Bahía Málaga la DBO₅, a través de los monitoreos, el valor más alto encontrado fue 3.43 veces menor con relación al máximo determinado en la bahía de Buenaventura. Los valores para la DBO₅, a través de los dos muestreos, variaron entre ≤0.26 y 1.11 mg O₂/L con un promedio de 0.79 mg O₂/L, reflejando que la entrada de materia biodegradable a la bahía es baja.

Nutrientes

Especialmente el nitrógeno y fósforo son claves para la calidad del agua en los estuarios. Estos pueden contribuir a problemas tales como OD bajo y a la eutrofización acelerada. El exceso de nutrientes también puede provocar floraciones algales. Sin embargo, los efectos generados por estos fenómenos dependen de otros factores además de los niveles de nutrientes [23].

El nitrógeno amoniacal ([NH₄]⁺) en los ecosistemas acuáticos es producto de la descomposición de la materia organonitrogenada y del intercambio de gases con la atmósfera. Normalmente las concentraciones más altas se encuentran en los puntos de influencia de descargas de aguas residuales y desembocaduras de ríos, y presentan un gradiente de disminución hacia mar adentro, como es el caso típico de la bahía de Tumaco (Figura 16).

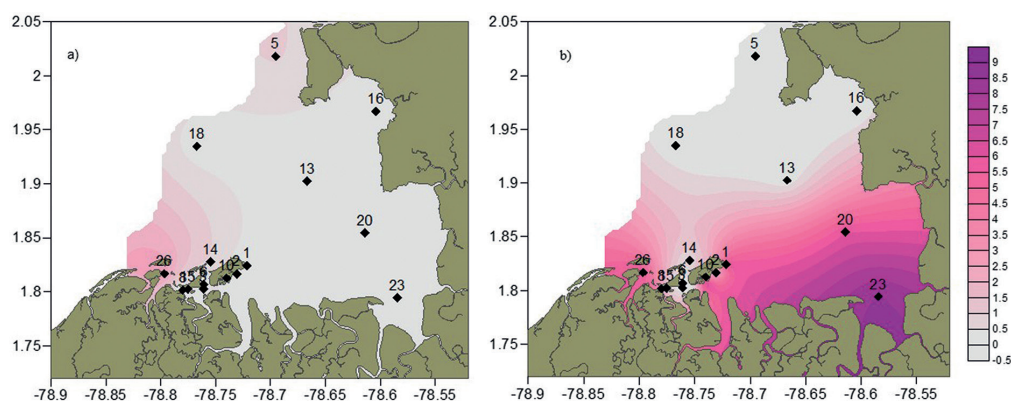


Figura 16. Comportamiento espacial de la concentración amonio (µg.at.N-NH₄⁺/L) en la bahía de Tumaco durante el segundo monitoreo: **a)** marea alta y **b)** marea baja.

Las concentraciones para el amonio en la bahía de Tumaco durante los dos monitoreos estuvieron comprendidas entre valores <0.3 y $8.5 \mu\text{g.at.N}-(\text{NH}_4)^+/\text{L}$. También merece mencionar que través de los diferentes estudios realizados en la bahía [25-29] pocas veces los niveles amonio han sido superados por los de nitritos, mostrando un comportamiento no conservativo debido al proceso de nitrificación.

En la bahía de Buenaventura la concentración promedio durante marea baja con base a los dos monitoreos fue de 2.00 y de $1.72 \mu\text{g.at.N}-(\text{NH}_4)^+/\text{L}$ para marea alta. El valor más alto se detectó en la estación 1 con $7.97 \mu\text{g.at.N}-(\text{NH}_4)^+/\text{L}$ durante el segundo monitoreo en marea baja. El amonio se relaciona directamente con el vertimiento de ARD, tal y como se observa alrededor de Isla Cascajal (Figura 17).

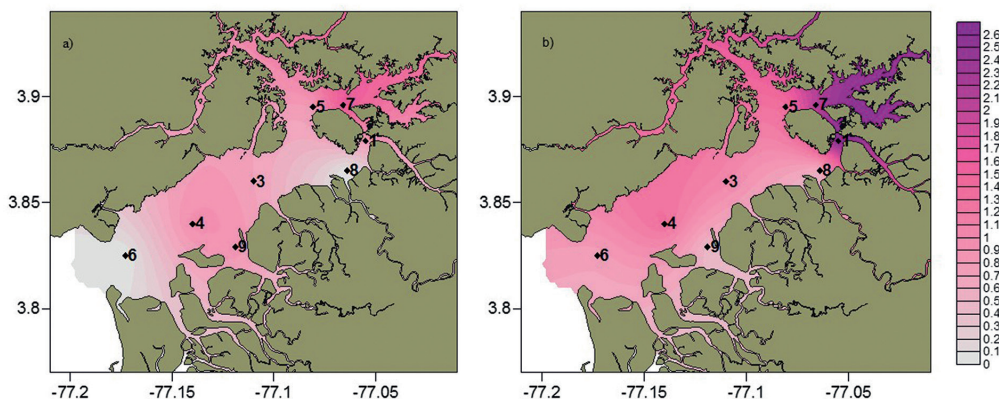


Figura 17. Distribución espacial de la concentración de amonio ($\mu\text{g.at.N-NH}_4^+/\text{L}$) en la bahía de Buenaventura durante el primer muestreo: **a)** marea alta y **b)** marea baja.

Los niveles de nitratos en la bahía de Tumaco estuvieron entre <0.11 y $11.64 \mu\text{g.at.N}-(\text{NO}_3)^-/\text{L}$. Según la NOAA [30], los valores para el Pacífico ecuatorial a nivel superficial pueden llegar hasta $22 \mu\text{g.at.N}-(\text{NO}_3)^-/\text{L}$. Así mismo, Carpenter [31] considera que en los estuarios de bajos nutrientes los valores de nitratos están en el intervalo de 10 a $40 \mu\text{g.at.N}-(\text{NO}_3)^-/\text{L}$ y decrecen linealmente hasta acercarse a cero (0) en el límite salino del estuario, tal como se presenta en la bahía. De forma análoga las concentraciones de nitritos variaron entre el límite de detección (LD) del método ($0.03 \mu\text{g.at.N-NO}_2^-/\text{L}$) y $0.94 \mu\text{g.at.N-NO}_2^-/\text{L}$, siendo bajas debido a la inestabilidad de este estado químico del nitrógeno, puesto que se oxida rápidamente a nitrato. La concentración media obtenida tanto para marea baja como alta fue de $0.11 \mu\text{g.at.N-NO}_2^-/\text{L}$.

Con relación al nitrato y nitrito que se forman durante la descomposición bioquímica de nitrógeno amoniacal; su ingreso a las aguas costeras se asocia con su contenido en los fertilizantes aplicados a los cultivos, en donde es pertinente mencionar que para la

zona costera del Pacífico nariñense se relaciona con las plantaciones de palma africana (*Elaeis guineensis*). Estos compuestos por escorrentías y transporte a través de ríos alcanzan el mar, y por ende en las desembocaduras se encuentran los niveles más altos.

Los niveles de nutrientes determinados para la bahía de Tumaco no superaron los límites reportados en la literatura para este tipo de ecosistemas, aun cuando sus aportes a través de ríos y desde la población son incesantes. La bahía está favorecida por diferentes factores que conllevan a un proceso de autodepuración continua y no se ha observado en el tiempo una tendencia definida de aumento de nutrientes [1].

Para la bahía de Buenaventura las concentraciones de nitritos estuvieron comprendidas entre 0.03 y $5.03 \mu\text{g.at.N}-(\text{NO}_2)^-/\text{L}$. Los niveles de nitratos variaron entre 0.81 y $10.32 \mu\text{g.at.N}-(\text{NO}_3)^-/\text{L}$, nuevamente sobresaliendo la estación 1 (Copescol) con la mayor concentración durante el segundo muestreo en marea baja.

En Bahía Málaga los intervalos de variación para los compuestos nitrogenados fueron más estrechos que los presentados en las bahías de Buenaventura y Tumaco, principalmente debido a la baja influencia antrópica. Las concentraciones estuvieron entre <0.32 y $6.61 \mu\text{g.at.N-(NH}_4\text{)}^+/\text{L}$ para el amonio; entre <0.03 y $0.35 \mu\text{g.at.N-(NO}_2\text{)}^-/\text{L}$ para los nitritos, y entre <0.11 y $2.34 \mu\text{g.at.N-(NO}_3\text{)}^-/\text{L}$ para los nitratos.

Ortofosfatos

Las concentraciones de fosfatos encontradas en la bahía de Tumaco fueron bajas. Durante el primer muestreo los niveles estuvieron por debajo del límite de detección ($0.06 \mu\text{g.at P-(PO}_4\text{)}^{-3}/\text{L}$), esto pudo obedecer al consumo por parte de los productores primarios asociado con una intensa actividad fotosintética, representada por los altos niveles de clorofila-a, aunado a un aumento del pH, el cual genera una precipitación del fósforo inorgánico hacia los sedimentos, marcándose este proceso hacia el sector de las estaciones 20 y 23. Durante el segundo muestreo el valor más alto fue $0.26 \mu\text{g.at P-(PO}_4\text{)}^{-3}/\text{L}$ en la estación 15, encontrándose dentro los niveles referenciados por la NOAA [30] a nivel superficial para el Océano Pacífico Ecuatorial, establecidos entre no detectables y $2.0 \mu\text{g.at. P-(PO}_4\text{)}^{-3}/\text{L}$, y según [32] en mares fértiles puede alcanzar hasta $1.6 \mu\text{g.at.P/L}$.

En la bahía de Buenaventura las concentraciones de fosfatos estuvieron comprendidas entre valores menores al límite de detección ($0.06 \mu\text{g.at.P-(PO}_4\text{)}^{-3}/\text{L}$) y $0.61 \mu\text{g.at.P-}$

$(\text{PO}_4)^{-3}/\text{L}$. La relación nitrógeno/fósforo disuelto (N:P) fue de 40:1, siendo superior a la relación de Redfield (16:1) [32, 20]; esto puede indicar que las actividades antropogénicas asociadas principalmente al vertimiento de ARD que se caracterizan por su alto contenido de compuestos nitrogenados, conducen a un desequilibrio en el ciclo del fósforo y ejercen que éste sea el nutriente limitante para la productividad primaria en el área.

En Bahía Málaga el rango del ion fosfato estuvo entre <0.06 y $0.35 \mu\text{g.at.P-(PO}_4\text{)}^{-3}/\text{L}$, encontrándose dentro del intervalo característico del Océano Pacífico Ecuatorial ($<2.0 \mu\text{g.at. P-(PO}_4\text{)}^{-3}/\text{L}$).

Índices tróficos

El índice trófico para los nutrientes ($[\text{NH}_4]^+$; $[\text{NO}_2]^- + [\text{NO}_3]^-$ y $([\text{PO}_4]^{-3})$ se comportó de manera homogénea. No obstante, los índices para el $[\text{NH}_4]^+$ en las estaciones 3, 8, 20 y 23, ubicadas hacia el interior de la bahía de Tumaco, durante el período de marea baja exhibieron características de ecosistemas mesotróficos (Figura 14); sin embargo, para la suma de nitritos y nitratos la estación 23 presentó características hipertróficas. Mientras que para el período de marea alta, los índices tróficos cambiaron a características oligotróficas ($I < 3$) como resultado de un proceso de dilución con aguas superficiales de origen oceánico. El índice para la suma de $[\text{NO}_2]^- + [\text{NO}_3]^-$ registró en los casos máximos un cambio del 68 %, como se presentó específicamente en la estación 23, con una disminución de 7.5 a 2.4 (figuras 18 y 19).

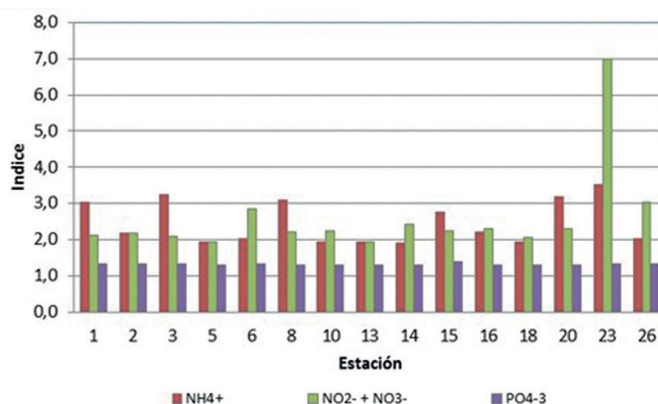


Figura 18. Índices tróficos para estaciones de muestreo en la bahía de Tumaco durante el período de marea baja.

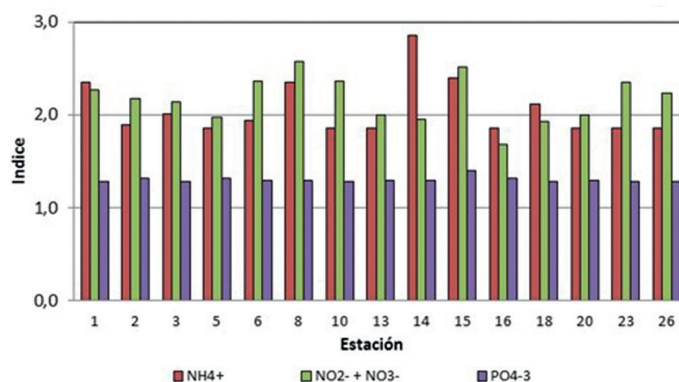


Figura 19. Índices tróficos para estaciones de muestreo en la bahía de Tumaco durante el período de marea alta.

El índice trófico en la bahía de Buenaventura, específicamente para la estación 1, ubicada en el punto de confluencia entre los esteros Piñal y San Antonio, y rodeada por sectores donde se concentran viviendas en áreas de bajamar presentó características de un ecosistema mesotrófico para $[\text{NO}_2]^- + [\text{NO}_3]^-$, y $[\text{NH}_4]^+$, lo cual se asocia con compuestos amoniacales de ARD. Las estaciones restantes presentaron características de ecosistema oligotrófico.

Así mismo, los valores similares de algunos índices tróficos (figuras 20 y 21)

y de concentraciones obtenidas para otras variables en las estaciones internas durante los periodos de marea baja y alta, permiten inferir que las condiciones morfológicas en la bahía no favorecen un recambio total de las aguas y, por ende, la expulsión hacia la zona externa de la bahía de los materiales ingresados por diversas fuentes a la bahía. Los índices determinados permiten corroborar que el fósforo constituye un factor limitante en la bahía, pues indicaron características de un ecosistema oligotrófico.

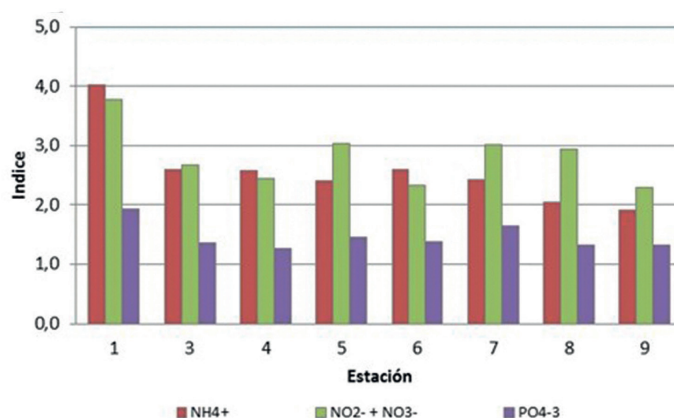


Figura 20. Índices tróficos para estaciones de muestreo en la bahía de Buenaventura durante el período de marea baja.

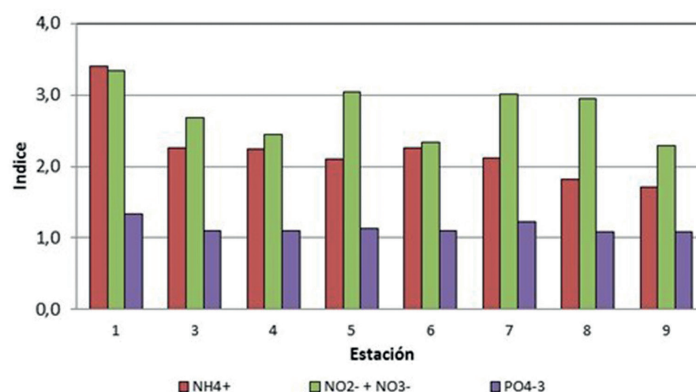


Figura 21. Índices tróficos para estaciones de muestreo en la bahía de Buenaventura durante el período de marea alta.

Los índices en Bahía Málaga, para el período de marea baja en el cual se favorece la entrada de nutrientes hacia este ecosistema, exhibieron características oligotróficas (Figura 22). Así puede decirse que Bahía Málaga es un ecosistema acuático pobre en nutrientes

disponibles para los organismos que viven en él. En este ámbito las concentraciones de nitrógeno y fósforo permiten inferir que los aportes provenientes del río La Sierpe y el estero La Plata no afectan la calidad del agua de las estaciones monitoreadas.

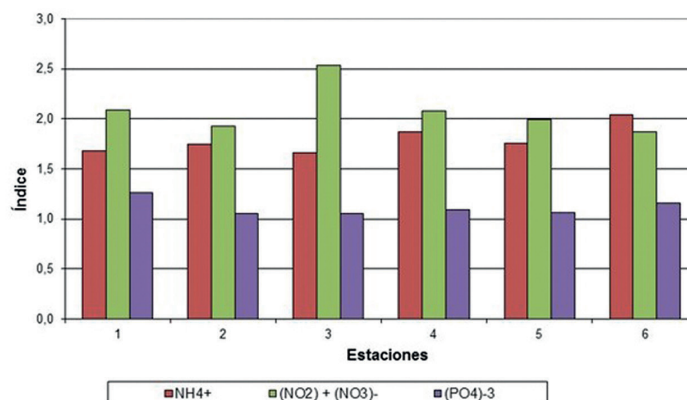


Figura 22. Índices tróficos para estaciones de muestreo en Bahía Málaga durante el período de marea baja.

Clorofila-a

Es un indicador de la abundancia y biomasa del fitoplancton en las aguas costeras y estuarios.

Elevadas concentraciones de clorofila-a no indican necesariamente una condición adversa; sin embargo, la persistencia a largo plazo de los niveles elevados constituye un problema.

Las concentraciones de clorofila-a suelen ser más elevadas después de las lluvias, sobre todo si éstas descargan nutrientes en el cuerpo receptor; esto es una posible explicación al hecho de que los niveles de nutrientes encontrados en la bahía de Tumaco durante el primer muestreo fueran extremadamente bajos, puesto que la precipitación para este mes alcanzó un valor de 12.5 mm, valor que se presenta esporádicamente. Los valores obtenidos estuvieron comprendidos entre 1.43 y 9.91 mg/m³, con un promedio de 3.57 mg/m³. Las concentraciones medias registradas para clorofila-a fueron de 5.79 y 4.72 mg/m³ para marea baja y alta, respectivamente; siendo altas en relación a los registros de años anteriores.

En la bahía de Buenaventura los valores medios de clorofila-a fueron de 6.51 y 5.32 mg/m³ para el primer y segundo semestre, respectivamente. Es importante anotar que el promedio obtenido para marea alta durante el primer muestreo fue de 7.76 mg/m³, mientras que en el segundo muestreo este valor disminuyó a 3.87 mg/m³. Esta variación obedece a que los niveles de clorofila-a dependen de la intensidad lumínica, regularmente las concentraciones más altas se detectan hacia el mediodía.

En Bahía Málaga la concentración promedio para el primer muestreo fue de 4.51 mg/m³ y de 2.28 mg/m³ para el segundo. Así mismo, el promedio determinado para marea alta fue de 2.03 mg/m³ y de 2.53 mg/m³ para marea baja, monitoreos que se realizaron en jornadas de la mañana y tarde, respectivamente.

CONCLUSIONES

En la bahía de Tumaco se observó que en presencia simultánea de altos niveles de clorofila-a, que se traducen en una alta productividad, conllevaron a una disminución substancial de nutrientes.

En las bahías estudiadas la variabilidad espacial de los niveles para algunos parámetros fisicoquímicos evaluados como el OD, la salinidad, el pH y la transparencia, aumentaron gradualmente desde la desembocadura de los ríos hacia mar adentro; comportamiento contrario al presentado por los nutrientes, la clorofila-a, los sólidos suspendidos y la DBO₅. Este comportamiento es consecuencia de la interacción entre las actividades antrópicas y los fenómenos meteomarineros que se presentan en el Pacífico colombiano.

Los valores de pH y OD en cada una de las tres bahías se encontraron dentro del rango

establecido en el Decreto 1594 de 1984, como criterio de calidad admisible para la destinación del recurso para la preservación de flora y fauna en aguas marinas o estuarinas.

Los índices del estado trófico para ortofosfatos determinados para las bahías de Tumaco, Buenaventura y Málaga permitieron clasificarlos como ecosistemas oligotróficos.

La estación 1 de la bahía de Buenaventura, las estaciones 20, 23 y 26 ubicadas en sectores adyacentes a la desembocadura de ríos en la bahía de Tumaco exhibieron características de ecosistemas mesotróficos para nutrientes nitrogenados, llegando incluso a presentar en la estación 23 condiciones hipertróficas para nitritos y nitratos con un valor de 5.7.

La calidad del agua de las bahías de Tumaco, Buenaventura y Málaga está intrínsecamente gobernada por factores como la morfología, ecosistemas circundantes, morfodinámica y actividades antrópicas.

La evaluación de la calidad del agua con base a la aplicación de índices tróficos exige la vigilancia de factores fisicoquímicos, a través de los cuales se pueden identificar alteraciones positivas o negativas, y por ende de gran utilidad en la toma de decisiones tendientes a implementar un adecuado manejo de los recursos hidrobiológicos, de interés alimentario en los ecosistemas marinos y estuarinos.

LITERATURA CITADA

- [1] Casanova, R. y Zambrano, M. Generalidades de la costa Pacífica colombiana. Pp.23-36. En: Dimar-CCCP. 2012. Panorama de la Contaminación Marina del Pacífico Colombiano 2005-2010. Dirección General Marítima-Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico. Ed. Dimar. Serie Publicaciones Especiales Vol. 7, San Andrés de Tumaco, Colombia. 158 pp. 2012.
- [2] Samboní, N.E., Carvajal, Y. y Escobar, J. Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. Revista Ingeniería e Investigación. 2007; 27(3): 172-181.
- [3] Otero, L.J. Determinación del régimen medio y extremal del nivel del mar para la bahía de Buenaventura. Boletín Científico CCCP 2004, (11): 30-41.

- [4] Posada, B.O., Henao, W. y Guzmán, G. 2009. Diagnóstico de la erosión y sedimentación en la zona costera del Pacífico colombiano. Invemar, Serie Publicaciones Especiales No. 17, Santa Marta. Colombia. 148 pp.
- [5] Cantera, J., Thomassin, B. y Arnaud, P. Faunal zonation and assemblages in the Pacific Colombian mangroves. *Hydrobiology*. 1999, 413:17-33.
- [6] Báez, M.C., Bobadilla, L. y Villaveces, M.C. Estudio y Evaluación de la Contaminación por Metales Traza en Zonas del Pacífico Colombiano, Fase 1. Ingeominas. Santafé de Bogotá. 1993, 19-27 pp.
- [7] APHA, AWWA, WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21th Ed. Washington, American Public Health Association. 2005.
- [8] Carpenter, J.H. New measurements of oxygen solubility in pure and natural water. *Limnol. Oceanogr.* 1966, 11: 264-277.
- [9] Riley, J.P. The Spectrophotometric determination of ammonia in natural waters with particular reference to sea water. *Anal. Chim. Acta.* 1953; 9: 575-589.
- [10] Strickland, J.D. y Parsons, T.R. A Practical Handbook of seawater analysis. Fisheries. Research Board of Canada. 2ª Ed. Ottawa. Pp. 5-80. 1972.
- [11] Murphy, J. y Riley, J.P. A single-solution method for determination of soluble phosphate in sea water. *J. Mar. Boil. Ass.* 1958; 37: 9-14.
- [12] FAO. Manual of Methods in aquatic environment research. Parte 1. FAO fish. Teach. paper No. 137. 1975.
- [13] Shinn, M.B. Colorimetric method for determination of nitrite. *Ind. Eng. Chem. Anal.* 194. Ed. 13 1, pp. 33-35
- [14] Bendschneider, K. y Robinson, R.J. A new Spectrophotometric Method for the determination of nitrite in sea water. *J. Mar. Res.* 1952, 11: 87-96.
- [15] Karydis, M., Ignatiades, L. y Moschopolou, N. An index associated with nutrient eutrophication in the Marine Environment. *Estuaries Coastal Shelf Science*. 1983, 16: 339-344.
- [16] Montalvo, J.F., Perigó, E., Espinosa, J. y García, I. Prospección de variables hidroquímicas de calidad ambiental en la zona del litoral entre el río Hatiguanico y Majana. *Contribución a la educación y protección ambiental*. 2000, 1: 15-26.
- [17] Stevenson, M.R., Guillen, G.O. y Santoro de Ycaza, J.S. Marine atlas of the Pacific coastal waters of South America. Berkeley. University of California Press. 1970.
- [18] Casanova, R., Zambrano, M., Latandret, S., Suárez, N. y Albán C. Variabilidad de parámetros fisicoquímicos en una estación oceánica frente a la bahía de Tumaco, Bol. Cient. CIOH 2012, 30:105-116.
- [19] República de Colombia, Ministerio de Salud, Decreto 1594 de 1984. Disposiciones Sanitarias sobre aguas.
- [20] Cleveland, C.C. y Liptzin, D.C. Pstoichiometry in soil, is there a "Redfield ratio" for the microbial biomass?. *Biogeochemistry*. 2007, 85: 235-252.
- [21] Rodríguez Rubio, E. Proyecto MOHID, Área Oceanografía Operacional – CCCP-2009.
- [22] Clark, R.B. Marine Pollution. Clarendon. Oxford University Press. New York. En: Ciencias Marinas. 1986, 21 (4), 422.
- [23] Kiely, G. Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Mc. Graw Hill. España. 199, 1331 pp.
- [24] EPA. Developing and Implementing an Estuarine Water Quality Monitoring, Assessment, and Outreach Program The MYSound Project, EPA/625/R-02/010 November 2002.
- [25] Casanova, R. y Portela, J., Caracterización y evaluación de la calidad del agua de la ensenada de Tumaco. *Bol. Cient. CCCP*. 1997, 6: 45-56.
- [26] Portela, J., Casanova, R., Castro, L. Transformación química de la materia orgánica en la ensenada de Tumaco. *Bol. Cient. CCCP* 2001, 8: 44-51.

- [27] Castro L, Portela J, Casanova R. Influencia de la marea en la variación de los niveles de parámetros hidroquímicos en el Pacífico colombiano (ensenada de Tumaco). Bol. Cient. CCCP 2001, 8: 44-51
- [28] Garay-Tinoco, J.A., Gómez-López, D.I. y Ortiz Galvis, J.R. Editores. Diagnóstico integral del impacto biofísico y socioeconómico relativo a las fuentes de contaminación terrestre en la bahía de Tumaco, Colombia y lineamientos básicos para un Plan de Manejo. Proyecto del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA - Programa de Acción Mundial PAM) y Comisión Permanente del Pacífico Sur CPPS. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (Invemar), Centro Control Contaminación del Pacífico (CCCP) y Corporación Autónoma Regional de Nariño (Corponariño). Santa Marta, 290 pp. 2006.
- [29] Casanova, R., Zambrano, M., Velasco, E., Rodríguez, D., Escobar, G., Betancourt, J., Narvaéz, S. y Bautista, P. Evaluación de Algunos Contaminantes en el Pacífico Colombiano. Pp. 71-126. En Dimar-CCCP. 2012. Panorama de la Contaminación Marina del Pacífico Colombiano – 2015-2010. Dirección General Marítima-Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico. Ed. Dimar. Serie Publicaciones Especiales. Vol. 7, San Andrés de Tumaco, Colombia. 158 pp. 2012.
- [30] NOAA Technical Report Nesdis 79. Quality control and processing of historical oceanographic nutrient data. 1994.
- [31] Carpenter, E. y Capone, D. Nitrogen in the Marine Environment, Academic Press Inc. New York 1983. 2-22.
- [32] Margalef, R. Limnología. Ediciones Omega. S.A. Barcelona (España). Pp 1010. 1983.
- [33] Redfield, A.C. The biological control of chemical factors in the environment. American Scientist. 1958, 46: 205-222.