

La condición ecológica de la bahía de Tumaco (Pacífico colombiano): evaluación de la calidad del agua y del fitoplancton

The ecological condition of Tumaco Bay (colombian Pacific): an assessment of water quality and phytoplankton

Fecha de recepción: 2014-02-17 / Fecha de aceptación: 2014-04-25

Ángela I. Guzmán A.¹, Mónica María Zambrano-Ortiz², Róbinson Fidel Casanova-Rosero³, John J. Selvaraj⁴, Adriana Martínez⁵

Universidad Nacional de Colombia (UNAL). Sede Palmira. Departamento de Ingeniería. Carrera 32 No. 12-00, Vía Candelaria. Palmira, Colombia. Correo electrónico: aiguzmana@unal.edu.co¹, jjojselvaraj@unal.edu.co⁴ amartinezar@unal.edu.co⁵

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

Guzmán AI, Zambrano MM, Casanova RF, Selvaraj JJ, Martínez A. La condición ecológica de la bahía de Tumaco (Pacífico colombiano): evaluación de la calidad del agua y del fitoplancton. Bol. Cient. CIOH 2014;32:3-16.

RESUMEN

La bahía de Tumaco presenta una fuerte interacción entre las aguas que vierten diferentes ríos, los cuales se caracterizan por ser de cauce corto pero caudalosos, y las aguas de origen oceánico que se proyectan hacia la costa; situación que genera variabilidad permanente de las condiciones fisicoquímicas que pueden acentuarse o atenuarse de acuerdo con el ciclo mareal y las épocas climáticas. Bajo estas consideraciones se caracterizó la comunidad de fitoplancton de las aguas de la bahía en marea alta y baja, en dos épocas del año y se relacionó con variables fisicoquímicas para evaluar su condición ecológica. Los muestreos se realizaron en abril (lluvias) y agosto (seca), en nueve estaciones. A partir del análisis de la composición de especies y abundancia, usando un escalamiento multidimensional no métrico, se registraron diferencias significativas en la composición y abundancia entre las dos épocas del año ($p=0.001$); encontrándose menor abundancia, mayor riqueza, uniformidad y diversidad en la época de lluvias, con relación a la seca. Fluctuaciones estacionales en la temperatura superficial del mar, salinidad, clorofila a, nitritos y nitratos (coeficiente de correlación de rangos de Spearman: 0.545; $p: 0.001$) se relacionaron con el patrón biológico encontrado. Estas condiciones favorecieron el crecimiento de *Rhizosolenia imbricata*, *Odontella sinensis*, *Guinardia striata*, *Scrippsiella sp* y *Proto-peridinium sp.* en lluvias y de *Coscinodiscus granni*, *Leptocylindricus danicus*, *Thalassiosira sp.*, *Astrionella japónica* y *Skeletonema costatum* en la época seca. La comparación con otros estuarios tropicales de las características fisicoquímicas y de la estructura de las comunidades, permite inferir que la condición ecológica de la bahía es buena, aunque vulnerable a cambios en sus condiciones ambientales. Se puede deducir que este estuario tiene la capacidad, por lo menos en escalas espaciales y temporales cortas, para asimilar las entradas de nutrientes, por lo que los florecimientos de algas son raros.

PALABRAS CLAVES: fitoplancton, parámetros fisicoquímicos, bahía de Tumaco, mareas, florecimientos algas.

ABSTRACT

The Bay of Tumaco has a strong interaction between waters discharged from different rivers, the rivers beds are characterized by being short but mighty, and the waters of oceanic origin projecting towards the coast, a situation that creates permanent variability of the physicochemical conditions that may be accentuated or attenuated according to the tidal cycle and the climatic seasons. Under these considerations, we characterized the phytoplankton community of the Bay waters in high and low tide in two seasons of the year and related them to physicochemical variables to assess the ecological condition of the Bay. Sampling was conducted in April (rainy season) and August (dry season) in nine stations. From the analysis of species composition and abundance, using a non-metric multidimensional scaling (nMDS), there were significant differences in the composition and abundance between the two seasons of the year ($p = 0.001$), showing less abundance, more species richness, uniformity and diversity in the rainy season compared to the dry season. Seasonal fluctuations in SST, salinity, chlorophyll a, nitrites and nitrates (Spearman's rank correlation coefficient: 0.545, $p = 0.001$), were associated with biological pattern found. These conditions favored the growth of *Rhizosolenia imbricata*, *Odontella sinensis*, *Guinardia striata*, *Scrippsiella sp.* and *Proto-peridinium sp.* in rainy season and *Coscinodiscus Granni*, *Leptocylindricus danicus*, *Thalassiosira sp.*, *Astrionella japónica* and *Skeletonema costatum* in the dry season. Comparison with other tropical estuaries physicochemical characteristics and the community structure it can be inferred that the ecological condition of the Bay is good, but is vulnerable to changes in its environmental conditions. It can be inferred that this estuary has the ability, at least in short spatial and temporal scales, to assimilate nutrient inputs, so algal blooms are rare.

KEYWORDS: phytoplankton, physicochemical parameters, Bay of Tumaco, tides, algae blooms.

INTRODUCCIÓN

Los estuarios pueden presentar enriquecimiento de nutrientes aportados por los ríos, por contaminación orgánica (local o lejana, derivada de la escorrentía) y por la entrada de aguas costeras de corrientes subsuperficiales que transportan nutrientes hacia los mismos [1]. La composición del fitoplancton está afectada por varios factores ambientales como: pH, luz, temperatura, salinidad, turbidez y nutrientes. Además de su importancia como productor primario asegurando el balance ecológico en las redes tróficas, las especies de fitoplancton son útiles como indicadores de calidad del agua. La disponibilidad de nutrientes juega un papel importante en la inducción de la estructura de la comunidad de fitoplancton [2].

Descriptores de la comunidad fitoplanctónica como abundancia total, riqueza de especies y diversidad, se consideran indicadores de la condición de salud de los ecosistemas. Altas concentraciones de fitoplancton pueden disminuir la cantidad y calidad de luz en la columna de agua y funcionar como un indicador de las condiciones. Del mismo modo, la riqueza y la diversidad han sido descriptores útiles de la condición ambiental de los ecosistemas acuáticos y de los cambios en la hidrodinámica costera y los patrones de calidad del agua [2, 3]. Debido al incremento en la población costera, al igual que al florecimiento de algas nocivas, se considera que los resultados de la estructura de la comunidad de fitoplancton son útiles para evaluar la vulnerabilidad de los sistemas costeros e identificar especies y áreas

potenciales que pueden actuar como reservorios de florecimiento de algas nocivas [2].

En la bahía se presenta una fuerte interacción entre las aguas que vierten diferentes ríos, los cuales se caracterizan por ser de cauce corto pero caudalosos, y las aguas de origen oceánico que se proyectan hacia la costa [4]; situación que genera variabilidad permanente de las condiciones fisicoquímicas que pueden acentuarse o atenuarse de acuerdo con el ciclo mareal y las épocas climáticas. Sin embargo, debido a la gran capacidad de dilución que presenta este cuerpo de agua, asociada con el rango mareal, con una altura promedio estimada de 3.5 m, los efectos adversos sobre la calidad del agua de la bahía no son significativos.

La presente investigación evaluó la condición ecológica de la comunidad fitoplanctónica durante los periodos de marea alta y baja en las dos épocas climáticas del año, mediante el uso de indicadores de exposición, a través de la determinación de los niveles de nutrientes, concentración de oxígeno y clorofila a; midiendo así la calidad del agua de la bahía.

ÁREA DE ESTUDIO

La bahía de Tumaco se encuentra ubicada en el suroccidente colombiano, departamento de Nariño, delimitada por las latitudes 1°45'00" y 2°00'00" N y las longitudes 78°30'00" y 78°45'00" W, en donde se distribuyeron un total de nueve estaciones de monitoreo (Fig. 1).

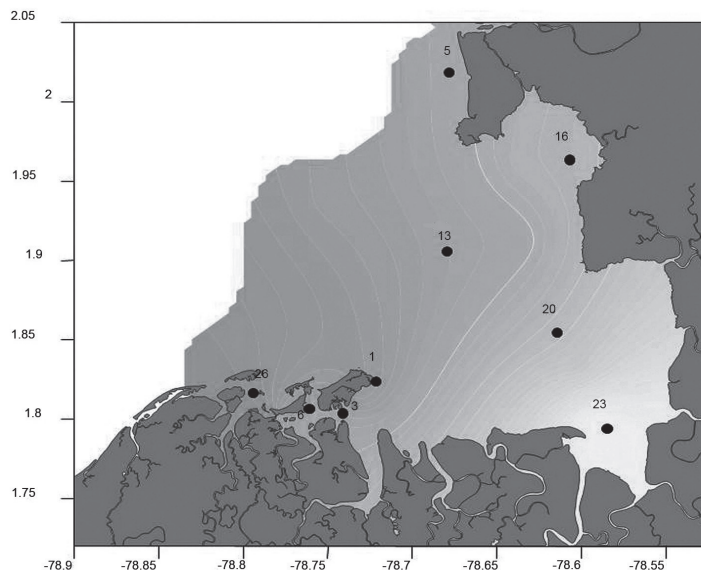


Figura 1. Ubicación de las estaciones de muestreo en la bahía de Tumaco.

El borde costero de la bahía comprende el municipio de Tumaco y parte del municipio de Francisco Pizarro, en los cuales se destacan las poblaciones de Salahonda, Cabo Manglares y las islas de El Morro, Tumaco y La Viciosa. El régimen de lluvias es moderado y presenta una precipitación promedio anual de 2647.1 mm [5]. Los habitantes de Tumaco basan su economía en labores extractivas como la minería y la pesca, además de la agricultura, la ganadería, el comercio y las actividades portuarias. En el sector agrícola se destacan el cultivo monoextensivo de palma africana (*Elaeis guineensis*), cacao, plátano y coco.

El ecosistema estuarino de la bahía recibe aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento de la población de Tumaco; allí también desembocan los ríos Curay, Chagüí, Colorado, Tablones, Mejicano, Rosario, Mira y Patía, afluentes que aportan residuos y una gran cantidad de material en suspensión que altera la calidad del agua y los ecosistemas asociados.

METODOLOGÍA

Muestreo

Entre el 12 de abril y el 23 de agosto de 2012 se realizó el monitoreo de nueve estaciones

distribuidas en la bahía de Tumaco, cubriendo los periodos de marea alta y baja para las dos épocas climáticas del año (Fig. 1). En cada estación se tomaron muestras de agua a nivel superficial, empleando una botella Niskin de 5 l; éstas fueron preservadas y transportadas al Laboratorio de Química del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCCP) para su posterior análisis (pH, salinidad, sólidos suspendidos, nutrientes y clorofila a). La determinación de oxígeno disuelto (OD) se basó en el método Winkler, fijando las muestras *in situ*. La temperatura superficial del mar (TSM) se midió usando una sonda multiparamétrica YSI 6600-V2.

Los muestreos de fitoplancton se hicieron utilizando una red de 23 micras, filtrando un volumen de 50 l; las muestras se preservaron con formol buferizado quedando a una concentración del 4 % en un volumen final de 500 ml. La abundancia se determinó en cel. L-1, observando un volumen final de 1.0 ml de muestra, empleando para tal fin una celda Sedgewick Rafter y un microscopio invertido. La identificación de los organismos se realizó a partir de claves y guías taxonómicas [6-9].

Adicionalmente, en 16 estaciones separadas entre sí 4 km, utilizando una sonda multiparamétrica YSI 6600-V2 se midió TSM y salinidad en ambas épocas del año (Fig. 2).

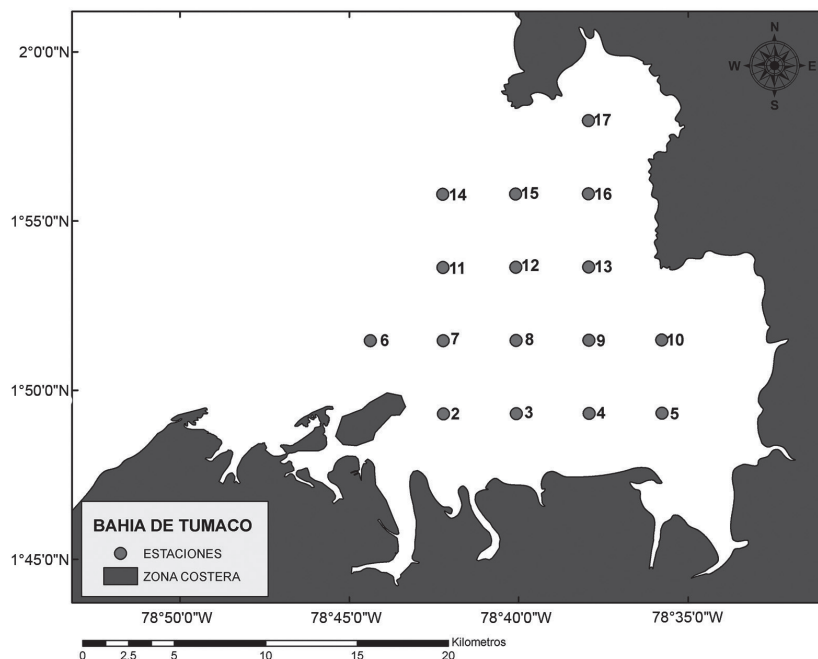


Figura 2. Ubicación de las estaciones de muestreo para determinar TSM y salinidad en ambas épocas del año.

Análisis de laboratorio

Los ensayos tendientes a determinar niveles de nutrientes, OD y clorofila *a* se realizaron siguiendo los métodos validados por el Laboratorio de Química del CCCP; comprometidos en el alcance de la acreditación lograda ante la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC) y actualmente bajo seguimiento por parte del Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC).

La determinación del amonio se realizó siguiendo el método colorimétrico del azul de indofenol, descrito por Strickland y Parsons [10]; para los nitritos se siguió el método colorimétrico descrito por Bendschneider y Robinson [11]; para los nitratos, el método colorimétrico de reducción con cadmio-cobre descrito Strickland y Parsons [10]; para los fosfatos, el método del ácido ascórbico de Murphy y Riley [12], y para los silicatos, el método del metol-sulfito descrito por Strickland y Parsons [10].

La determinación de la clorofila *a* y OD se realizó aplicando el método tricromático 10200 H y el método yodométrico 4500-O B, respectivamente, descritos en el Standard Methods [13].

La variabilidad temporal de la composición y abundancia del fitoplancton se evaluó a través de un análisis de similaridad ANOSIM a una vía, a través del programa Primer v6 [14]. La estructura de las comunidades fitoplanctónicas se describió usando la composición de especies, abundancia, diversidad numérica de Shannon Weaver, dominancia de Simpson, uniformidad de Pielou y riqueza de especies.

La matriz de abundancia y composición de especies se transformó con raíz cuarta de acuerdo con la Ley de Taylor; la matriz de similaridad se construyó con el Índice de Bray-Curtis y la ordenación se hizo con el análisis de escalamiento multidimensional no métrico utilizando 100 reiteraciones [14].

La condición ecológica de las comunidades fitoplanctónicas se evaluó relacionando la matriz de abundancia y composición con la de variables

fisicoquímicas, utilizando el método de correlación de rangos de Spearman; los datos de la matriz fisicoquímica fueron previamente normalizados, el valor de cada variable se le resta su promedio y se divide por su desviación estándar. Esto es necesario, dado que las variables tienen diferentes unidades [14]. La significancia de la relación encontrada se determinó con la prueba de Mantel. Además, estas ordenaciones se relacionaron con los descriptores de la estructura de las comunidades fitoplanctónicas usando el software Primer 6 versión 6.1.13.

Con las variables evaluadas en las 16 estaciones se realizó un análisis exploratorio de los datos para identificar valores extremos, distribución, variabilidad y correlación, con el fin de establecer la validez de los supuestos necesarios en la aplicación geoestadística y definir el procedimiento de predicción más conveniente. Se usó la técnica del Kriging Ordinario para cada variable. Se hallaron los modelos respectivos y se calculó el mejor ajuste, usando el criterio de que el error medio estandarizado (SEM, por sus siglas en inglés) debe estar lo más cerca de cero (0) y que el error cuadrático medio (RMSE, por sus siglas en inglés) debe estar próximo a la unidad; para lo cual se utilizó la herramienta Geostatistical Analyst del programa de ArcGIS 9.3.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las diatomeas y flagelados son dominantes en las regiones costeras [15], condición natural que se encuentra en la bahía. Es así como para abril se identificaron 93 especies, de las cuales 76 fueron diatomeas, 13 dinoflagelados, tres (03) cianofíceas y una (01) silicoflagelado; con una abundancia mayor en marea baja para los dos primeros grupos, y menor para las cianofíceas y silicoflagelados (Tabla I). En agosto se identificaron 113 especies, de las cuales 90 fueron diatomeas, 19 dinoflagelados, dos (02) cianofíceas y dos (02) silicoflagelados; con una mayor abundancia en la marea baja. Las diatomeas estuvieron mejor representadas en abundancia y composición con relación a los demás grupos en ambos periodos mareales y épocas del año. La densidad promedio fue mayor en lluvias comparado con la época seca.

Tabla I. Densidad de fitoplancton (cel.L⁻¹) para abril (época de lluvias) y agosto (época seca) de 2012 en ambos periodos de la marea.

	Abril	Abril	Agosto	Agosto
	Marea baja	Marea alta	Marea baja	Marea alta
Diatomeas	228320	92550	123220	77540
Dinoflagelados	13880	9210	3820	4330
Cianofíceas	520	1080	460	760
Silicoflagelados	100	100	240	200
Total	242820	102940	127740	82830
Promedio ± desviación estándar	60705±111926.4	25735±44730.1	31935±60878.7	20707.5±37932.5

En abril se evidenció la influencia de los cambios mareales en la abundancia y diversidad, registrando mayores abundancias durante marea baja; la riqueza, uniformidad y diversidad de

Shannon se incrementaron durante la marea alta (Izq. Fig. 3); mientras que en agosto no se observaron cambios marcados en la estructura de la comunidad con relación a la marea (Der. Fig. 3).

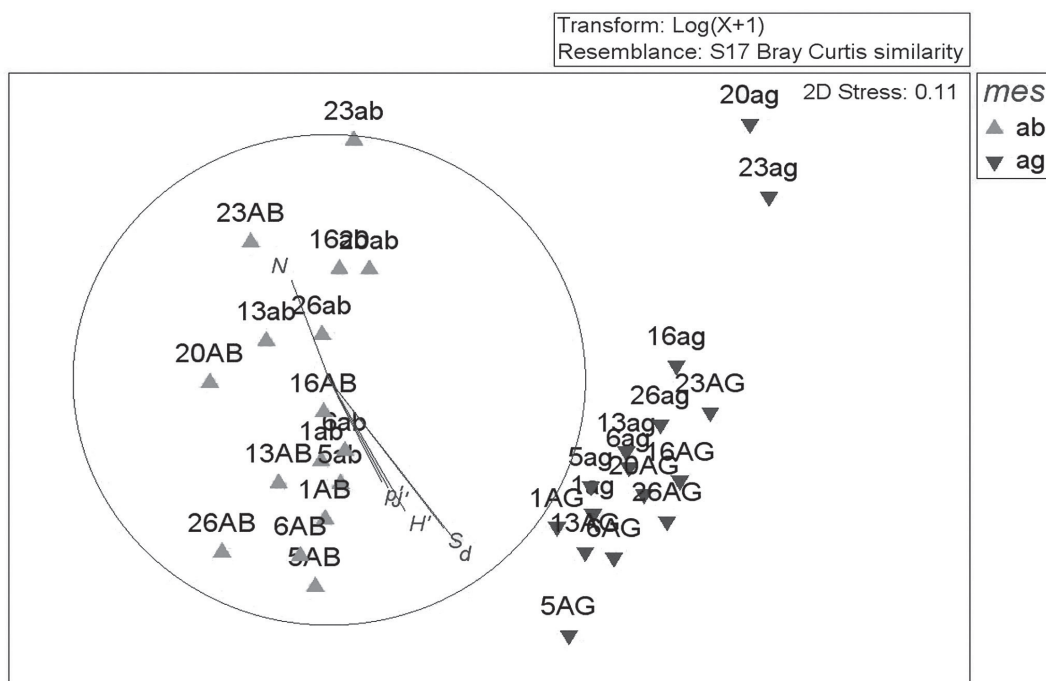


Figura 3. Distribución espacial y temporal de las estaciones de acuerdo con la abundancia y composición del fitoplancton en ambas épocas del año y periodos mareales. Letra mayúscula corresponde a marea alta y minúscula a marea baja. Las flechas corresponden a índices de biodiversidad; N, abundancia; S, riqueza de especies; H, índice de Shannon (log2); J, uniformidad de Pielou; d, riqueza de especies de Margalef; p, índice de Simpson.

Se registraron diferencias significativas en la composición y abundancia entre las dos épocas del año ($p=0.001$); encontrándose menor abundancia, mayor riqueza, uniformidad y diversidad en la época seca (agosto) con relación a la de lluvias (abril) (Fig. 3).

En la bahía se registraron dos comunidades que obedecen a la dinámica que presenta la zona relacionada con factores meteomarineros. En abril con el incremento de las lluvias y la escorrentía, una comunidad se ubicó en el oriente de la bahía (esquina superior izquierda de la Fig. 4); asociada con mayores valores de TSM y menor salinidad y se distribuye siguiendo las plumas de los ríos Curay, Cuello, Colorado, Chagüí, Chajal, Mejicano y Rosario

(Fig. 5); en donde *Thalassionema nitzschioides* fue la especie más abundante y otra ubicada al sur occidente de la bahía (esquina inferior izquierda de la Fig. 4), asociada a salinidades mayores (Fig. 5), en donde *Rhizosolenia imbricata* y *Guinardia striata* fueron muy abundantes. En agosto, con la disminución de las lluvias y la escorrentía, las diferencias en salinidad fueron menores, registrándose una comunidad extensa en la mayor parte de la bahía, con mayores abundancias de las especies *Leptocylindricus danicus* y *Asterionella japónica*, y otra comunidad con una distribución restringida al frente de la desembocadura de los ríos mencionados anteriormente (Fig. 4 y 5), con mayor abundancia de la especie *Coscinodiscus granni*.

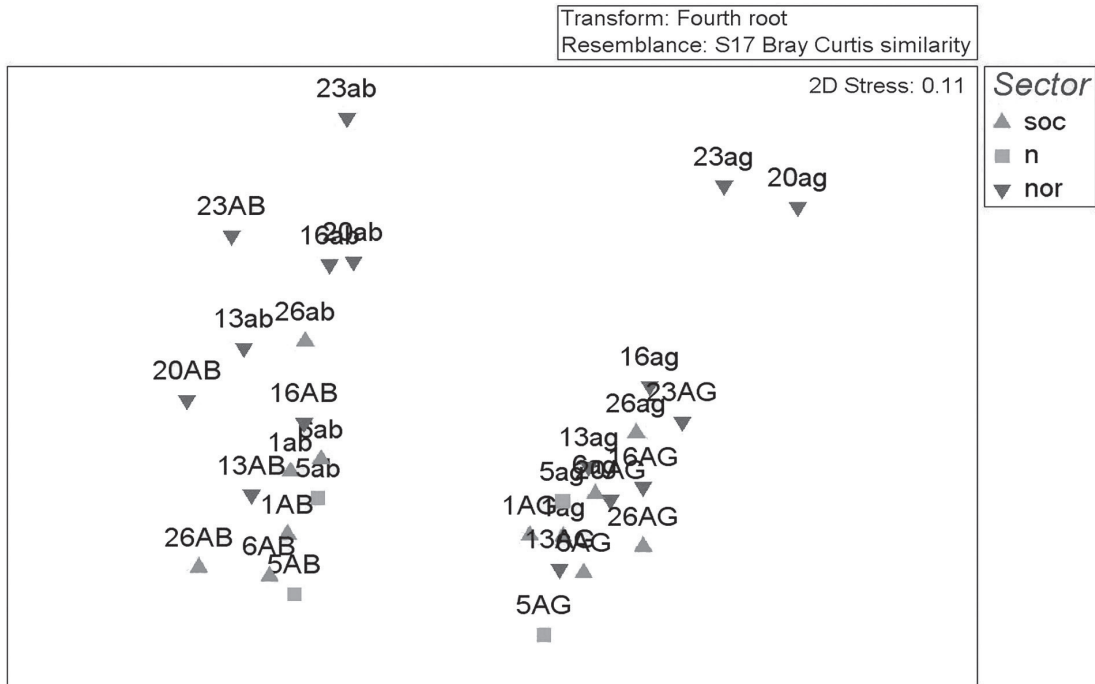


Figura 4. Distribución espacial y temporal de las estaciones de acuerdo con la abundancia y composición del fitoplancton. Sector suroccidental (soc), noroccidental (nor) y norte (n) de la bahía de Tumaco.

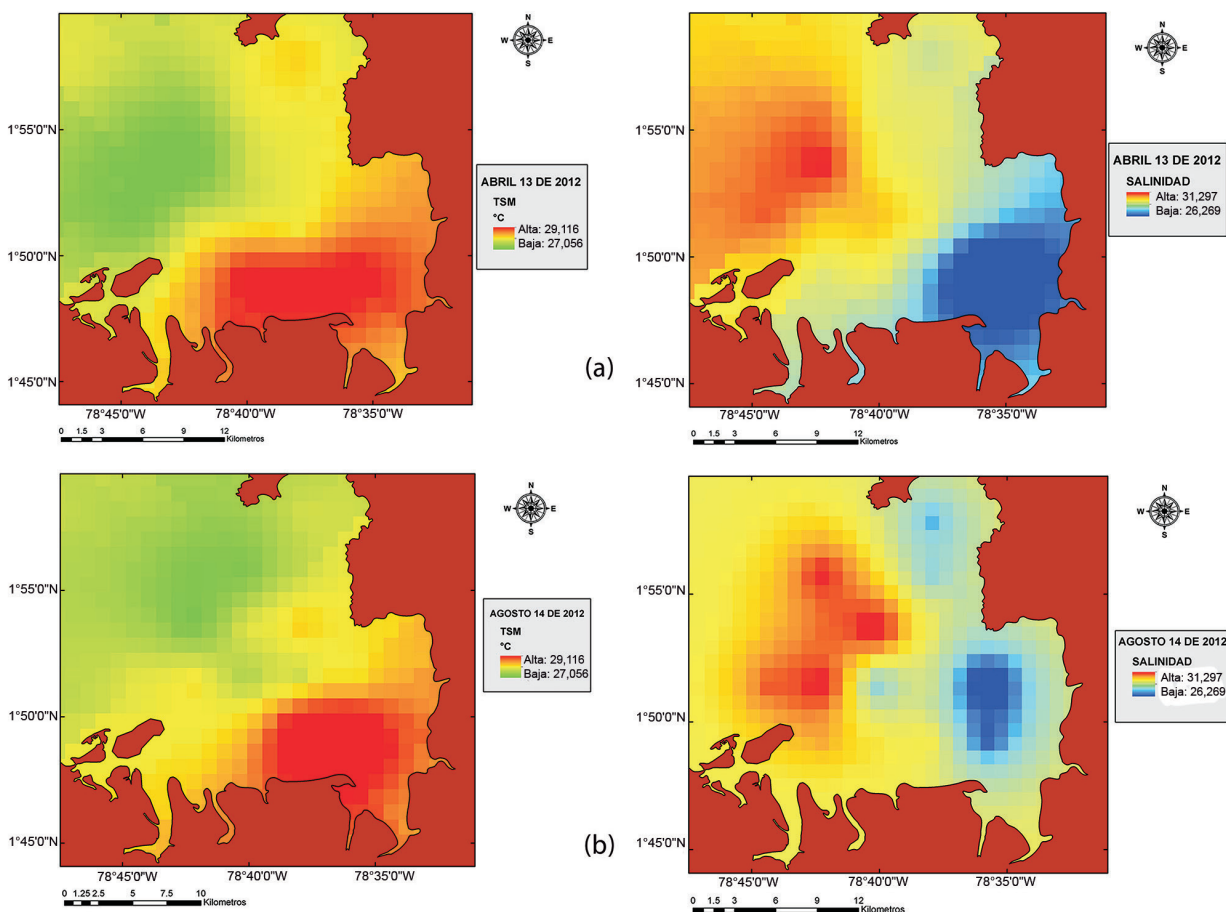


Figura 5. Distribución de la TSM **(a)** y la salinidad **(b)** en época de lluvias (abril) y seca (agosto).

La composición y abundancia de fitoplancton estuvo relacionada con las condiciones locales de calidad del agua, lo que indica su dependencia de la disponibilidad de recursos (Fig.6 y 7). La distribución espacio-temporal de las comunidades de fitoplancton respondió a cambios en la TSM, salinidad, clorofila a, nitritos y nitratos (coeficiente de correlación de rangos de Spearman: 0.545; p : 0.001). Los valores medios de la correlación pueden deberse al desfase en el tiempo en la respuesta de la comunidad de fitoplancton a las condiciones fisicoquímicas del agua, así como al transporte por corrientes y mareas.

Las condiciones fisicoquímicas prevalecientes en la época de lluvias como mayores temperaturas, menor salinidad, menor clorofila a y menor concentración de nitratos y nitritos, favorecieron el crecimiento de *Rhizosolenia imbricata*, *Odontella sinensis*, *Guinardia striata*, *Scrippsiella sp* y el dinoflagelado *Protoperidinium*

sp. (Fig. 6). La época seca favoreció la abundancia de las diatomeas *Coscinodiscus granni*, *Leptocylindricus danicus*, *Thalassiosira sp*, *Asterionella japónica* y *Skeletonema costatum*, cuando la concentración de nitratos y nitritos en el agua fue mayor (Fig. 7). Cerca de la desembocadura de los ríos se desarrolló una comunidad diferente dominada por *Coscinodiscus granni* y *Surirella sp.* y una mayor concentración de clorofila a. La influencia de nutrientes sobre el crecimiento de fitoplancton también ha sido registrada en otros estuarios [1][16, 17, 18], aunque en la última década se ha reconocido que la concentración de nutrientes puede no ser una variable diagnóstico robusta para indicar eutroficación [19]. Los nutrientes son la causa principal, pero hay otros factores que determinan el nivel máximo y el tipo de expresión de los síntomas eutróficos en un estuario, incluyendo el intercambio de marea y el flujo de agua dulce entre otros [19].

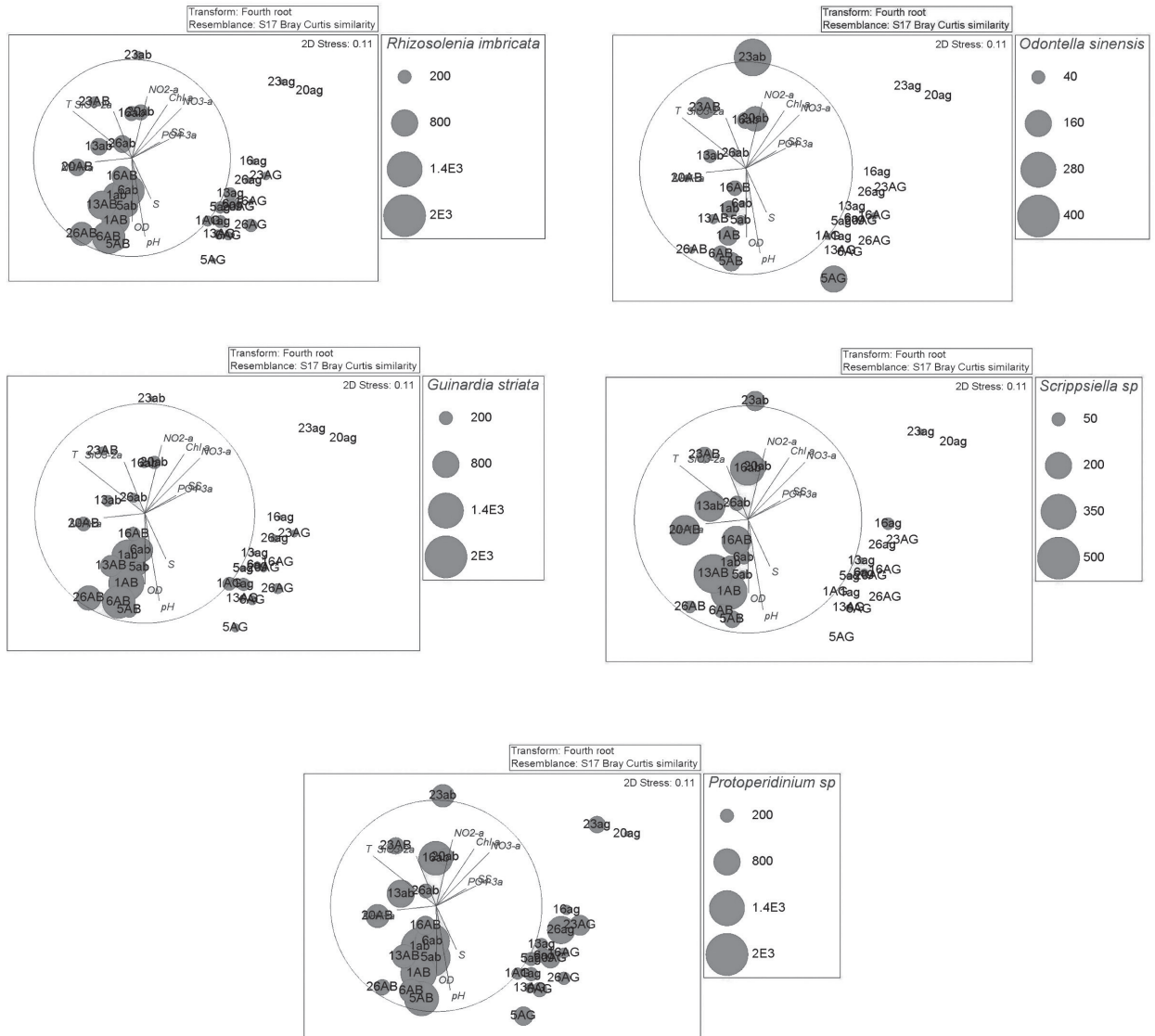


Figura 6. Distribución espacial y temporal de las estaciones de acuerdo con la abundancia y composición del fitoplancton. Los círculos representan la abundancia de las especies y las flechas las variables. Se resaltan las especies dominantes en época de lluvias (abril).

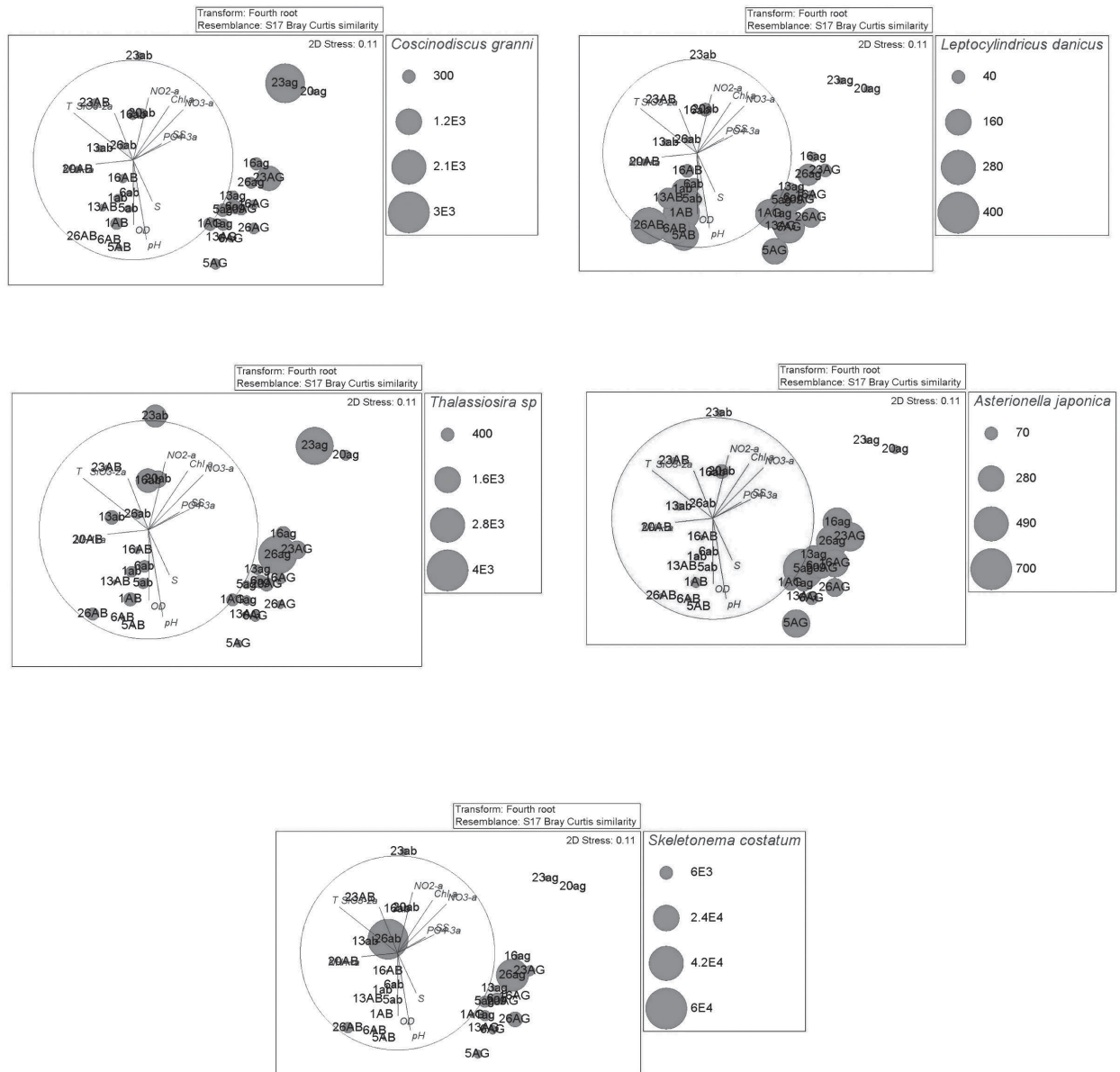


Figura 7. Distribución espacial y temporal de las estaciones de acuerdo con la abundancia y composición del fitoplancton. Los círculos representan la abundancia de las especies y las flechas las variables. Se destacan las especies dominantes en época seca (agosto).

Registros históricos de la distribución espacial de la abundancia de fitoplancton en la bahía de Tumaco muestran cuatro zonas (I, II, III y IV) relacionadas con las fluctuaciones de la marea [20]. En la presente investigación, al comparar la composición y abundancia de fitoplancton en las diferentes estaciones muestreadas, se encontraron dos comunidades en cada época del año que por su distribución espacial son similares a las definidas en la zona I y IV por Tejada et al. [20]. Las comunidades pueden ampliar o disminuir su distribución según la época del año. Los presentes datos mostraron que durante la época de lluvias hay una comunidad distribuida en el sector oriental de la bahía (zonas II y IV) y otra en el sector suroccidental (zona I y III); y en la época

seca, la primera se restringe a la desembocadura de los ríos Rosario, Mejicano y Tablones (zona IV) y la segunda se extiende al resto de la bahía.

La clorofila a se ha considerado la principal variable indicadora del estado trófico [16]. Sus niveles en la bahía, junto con los obtenidos para los nutrientes, comparados con los registrados en otros estuarios evidencian que los niveles de clorofila a son más bajos que los sitios impactados, pero más altos que los no impactados (Tabla II), sugiriendo una condición vulnerable al deterioro de las condiciones ambientales. Una concentración de clorofila a por encima de 5 µg.L-1 parece ser el umbral que puede favorecer las floraciones de algas [19].

Tabla II. Diferencias en la concentración promedio de nutrientes disueltos en el agua (µM), clorofila a (µg.L-1), temperatura (T °C), salinidad (S), pH en estuarios impactados (alto, medio), no impactado (bajo) y la bahía de Tumaco en ambos periodos muestreados [2] [18,19].

Estuarios	T	S	pH	Clorofila a	NH ₄	NO ₂ + NO ₃	PO ₄ ³⁻
Australia, impactado	29.1 ± 2.1	33.9 ± 4.4	7.8 ± 0.4	50.4 ± 38.7	3.3 ± 3.0	1.3 ± 0.9	0.1 ± 0.3
Australia, no impactado	24.8 ± 1.4	35.0 ± 3.5	7.3 ± 0.6	2.3 ± 2.0	2.5 ± 3.1	0.9 ± 1.1	0.1 ± 0.1
Estados Unidos, alto				>20, ≤60		≥1000	≥100
Estados Unidos, medio				>5, ≤ 20		≥100, ≤1000	≥10, ≤100
Estados Unidos bajo				≥0, ≤ 5		0, ≤100	, ≤10
Yucatán, alto				≥ 6	≥ 0.38	≥ 2.9	≥ 0.38
Yucatán, medio				≥1.86, ≤6	≥0.1, ≤0.38	≥0.78, ≤2.9	
Yucatán, bajo				0, ≤ 1.86	0, ≤ 0.1	0, ≤0.78	0, ≤0.06
Bahía Tumaco abril	28.5 ± 0.9	27.5 ± 7.0	7.9 ± 0.2	4.6 ± 2.8	3.3 ± 4.0	1.2 ± 1.1	0.2 ± 0.1
Bahía Tumaco agosto	26.9 ± 0.1	30.4 ± 3.3	8.1 ± 0.2	6.2 ± 5.8	0.9 ± 0.4	2.6 ± 2.4	0.2 ± 0.1

La presencia de especies como *Anabaena sp*, *Oscillatoria sp*, *Chroococcus turgidus*, *Dinophysis caudata*, *Dinophysis sp*, *Nitzschia sp* y *Skeletonema costatum* indica la sensibilidad de la bahía al florecimiento de algas nocivas cuando se deterioran las condiciones fisicoquímicas. La afectación de los recursos biológicos y del fitoplancton, especialmente las especies que constituyen las mareas rojas y las algas nocivas, se convierten en un aspecto importante en la investigación de los estuarios.

Los monitoreos de la comunidad de fitoplancton son una herramienta básica en el diagnóstico de la eutrofización, no sólo porque sirven para detectar una respuesta inicial al enriquecimiento de nutrientes, sino también porque abarcan una amplia gama de la diversidad taxonómica y funcional que está estrechamente vinculada a la salud del ecosistema marino [21]. En este estudio se identificaron especies nocivas de fitoplancton (Tabla III). Esto puede ser una

evidencia parcial que sugiere la vulnerabilidad de la bahía al deterioro de las condiciones ambientales. La presencia en agosto de *Pseudonitzschia lineola*, en la mayor parte de las estaciones en abundancias bajas, puede indicar la vulnerabilidad de la bahía al florecimiento de algas nocivas. Las diatomeas de este género producen Ácido Domoico, cuya intoxicación provoca amnesia en los humanos [22].

De igual manera la presencia de *Skeletonema costatum* en la época seca puede indicar la fragilidad de la bahía a alteraciones ambientales; esta especie es eurihalina y euritérmica, y crece rápidamente en condiciones de eutrofización, produciendo mareas rojas en el verano, como se ha registrado en otros estuarios [17]. Tejada *et al.* [20] registraron mareas rojas en marzo, debidas al favorecimiento de algunas características ambientales que beneficiaron el crecimiento de *Alexandrium catenella*. El género se encontró en el presente estudio en muy bajas abundancias.

Tabla III. Especies de algas nocivas identificadas en la bahía de Tumaco en abril y agosto de 2012. NT, no tóxica; T, Tóxica.

Especies	Impacto
<i>Nitzschia longissima</i>	NT
<i>Cylindrotheca closterium</i>	NT
<i>Scrippsiella sp</i>	NT
<i>Dinophysis caudata</i>	T
<i>Prorocentrum micans</i>	T
<i>Pseudonitzschia lineola</i>	T
<i>Skeletonema costatum</i>	NT
<i>Alexandrium sp</i>	T

Comparando los valores encontrados en la bahía de Tumaco con los de referencia de la calidad del agua en estuarios tropicales, se encuentra que para la mayoría de las variables la condición de la

bahía es buena; pero en algunas ocasiones puede superar los niveles naturales (Tabla IV), resultados que sugieren nuevamente su vulnerabilidad a cambios en las condiciones de calidad del agua.

Tabla IV. Valores de referencia de algunas variables de calidad de agua en estuarios tropicales [2]. O (mg.L⁻¹), clorofila a (µg.L⁻¹), NO₂, NH₄, PO₄³ (µM).

Condición	OD	Clorofila a	NO ₂	NH ₄	PO ₄ ³
Excelente La calidad del agua está protegida con una ausencia de amenaza o deterioro; las condiciones están muy cercanas a los niveles naturales o vírgenes.	≥ 6.0	< 2.3- 3.7	< 0.07 -0.16	< 0.01 -0.82	< 0.06-0.24
Buena La calidad del agua generalmente está protegida, pero a veces está amenazada o comprometida; las condiciones a veces se salen de los niveles naturales o deseables.	4.4 – 6.0	3.7 – 6.0	0.16 -0.4	0.82 -2.81	0.24 -0.36
Pobre La calidad del agua está frecuentemente amenazada o comprometida; las condiciones a menudo se salen de los niveles naturales o deseables.	< 4.4	≥ 6.0	> 0.4	> 2.81	> 0.36
Bahía de Tumaco (abril)	6.2 ± 0.7	4.6 ± 2.8	0.3 ± 0.9	3.3 ± 4.0	0.2 ± 0.1
Bahía de Tumaco (agosto)	6.4 ± 0.4	6.2 ± 5.8	0.3 ± 0.5	0.9 ± 0.4	0.2 ± 0.1

Los resultados sugieren que la bahía puede presentar estados tempranos de eutrofización (por sus concentraciones de clorofila a), pero las concentraciones de OD sugieren que no es un síntoma permanente y/o frecuente; éstas se encuentran por encima de las concentraciones que causan estrés biológico, pudiendo sostener comunidades bentónicas e ícticas, entre otros [2] [19]. Los nutrientes son la causa principal de la eutrofización, pero hay otros factores que determinan el nivel máximo y el tipo de expresión de los síntomas eutróficos en un estuario, incluyendo el intercambio de marea y el flujo de agua dulce, entre otros [19].

En la bahía el rango medio de la marea corresponde a 2.45 m y el rango máximo alcanza un valor por encima de 4 m; las corrientes generadas por el oleaje y las mareas y su profundidad somera conllevan a que su comportamiento sea muy dinámico; lo cual le permite asimilar las entradas de nutrientes y mantener altas concentraciones de OD, por lo menos en escalas espaciales y temporales cortas,

generando una condición de buena calidad del agua.

CONCLUSIONES

- Las concentraciones de nutrientes, OD y clorofila a indican que la bahía de Tumaco presenta una buena calidad del agua.
- El comportamiento de la comunidad fitoplanctónica está asociado a las condiciones hidroquímicas que se presentan en la bahía y a las dos épocas del año (seca y lluviosa).
- La composición y abundancia de las comunidades del fitoplancton se relacionan con cambios en la TSM, salinidad, clorofila a, nitritos y nitratos.
- La hidrodinámica que presenta la bahía en cuanto al régimen mareal mantiene condiciones óptimas en la calidad del agua y, por ende, favorece el equilibrio en el ecosistema.

- La condición ecológica de la bahía es buena, aunque vulnerable a cambios en sus condiciones ambientales. Tiene la capacidad, por lo menos en escalas espaciales y temporales cortas, para asimilar las entradas de nutrientes, por lo que los florecimientos de algas son raros.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este artículo expresan agradecimiento por el apoyo a la presente investigación a la Universidad Nacional de Colombia-Vicerrectoría de Investigación y Dival (UNAL), al Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCP), a la Dirección General Marítima (Dimar), la Capitán de Fragata Rafael Ricardo Torres Parra y al Suboficial Primero Orlando Antonio Muñiz Cairoza.

LITERATURA CITADA

- [1] Subrat N, Acharya BC, Mohapatra A. Seasonal variations of phytoplankton in Mahanadi estuary, east coast of India. *Indian Journal of Marine Science*. 2006;38(2):184-190.
- [2] Herrera-Silveira JA, Morales-Ojeda SM. Evaluation of the health status of a coastal ecosystem in southeast Mexico: Assessment of water quality, phytoplankton and submerged aquatic vegetation. *Marine Pollution Bulletin*. 2009;59:72-86.
- [3] Heiskanen AS, Carstensen J, Gasiunaite Z, Henriksen P, Jaanus A, Kauppila P, Lysiak-Pastuszak E, Sagert S. Monitoring strategies for phytoplankton in the Baltic Sea coastal waters. European Commission, Institute for Environment and Sustainability Inland and Marine Waters. Unit I-21020. Ispra (VA), Italy; 2005.
- [4] Bastidas G, Casanova R, Celis C. Correlación de parámetros con la dinámica en la bahía de Tumaco. *Bol. Cient. CCCP* 2008;15:83-89.
- [5] Garay-Tinoco JA, Gómez-López DI, Ortiz-Galvis JR. 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.
- [6] Jiménez R. Diatomeas y Silicoflagelados del fitoplancton del golfo de Guayaquil. *Acta Oceanográfica del Pacífico. Inocar. 2* (2). Guayaquil. Ecuador; 1983.
- [7] Pesantes F. Dinoflagelados del golfo de Guayaquil. *Acta Oceanográfica del Pacífico. Inocar. 2* (2). Guayaquil. Ecuador; 1983.
- [8] Tomas CR. *Identifying marine phytoplankton*, Editorial Academic Press Inc. San Diego, USA. 1997; 858 pp.
- [9] Uribe-Palomino HJ. Colección fotográfica de organismos fitoplanctónicos de la Cuenca del Pacífico colombiano. *Cruceros Oceanográficos Pacífico XXXIII ERFEN XXXI* (nov-dic 2000) y *Pacífico XXXIV ERFEN XXXII* (jun-jul 2001). Centro Control Contaminación del Pacífico-CCCP. Informe de investigación; 2003.
- [10] Strickland JD, Parsons TR. *A practical handbook of seawater analysis*. Second Edition. Ottawa (Canada): Fisheries Research Board of Canada; 1972.
- [11] Bendschneider K, Robinson RJ. A new Spectrophotometric Method for the determination of nitrite in sea water. *Journal Marine Research*. Volume 11; 1952.
- [12] Murphy J, Riley JP. A single-solution method for determination of soluble phosphate in sea water. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 1958;37:9-14.
- [13] APHA, AWWA, WPCF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21th Edition. Washington, American Public, Health Association; 2005.
- [14] Clarke KR, Gorley RN. *PRIMER v6: User Manual/Tutorial*. Primer-E Ltd. Plymouth. 2006; 190 pp.

- [15] Naik RK, Anil AC, Narale DD, Chitari RR, Kulkarni VV. Primary description of surface water phytoplankton pigment patterns in the Bay of Bengal. *Journal of Sea Research* 2011; 65:435-441.
- [16] Boyer JN, Kelble CR, Ortner PB, Rudnick DT. Phytoplankton bloom status: Chlorophyll a biomass as an indicator of water quality condition in the southern estuaries of Florida, USA. *Ecological indicators*. 2009;9s: 56-67.
- [17] Huang L, Jian W, Song X, Huang X, Liu S, Qian P, Yin K, Wu M. Species diversity and distribution for phytoplankton of the Pearl River estuary during rainy and dry seasons. *Marine Pollution Bulletin* 2004;49:588-596.
- [18] Trott LA, Alongi DM. The Impact of Shrimp Pond Effluent on Water Quality and Phytoplankton Biomass in a Tropical Mangrove Estuary. *Marine Pollution Bulletin*. 2000;40 (11):947-951.
- [19] Bricker SB, Ferreira JG, Simas T. An integrated methodology for assessment of estuarine trophic status. *Ecological Modelling*. 2003;169:39-60.
- [20] Tejada CA, Otero LJ, Castro LA, Afanador F, Devis A, Solano JE, Fonseca AL. Aportes al entendimiento de la bahía de Tumaco: entorno oceanográfico, costero y de riesgos. Dirección General Marítima (Dimar) - Centro Control Contaminación del Pacífico (CCCP). San Andrés de Tumaco, 169 pp; 2003.
- [21] Devlin M, Best M, Coates D, Bresnan E, O'Boyle S, Park R, Silke J, Cusack C, Skeats J. Establishing boundary classes for the classification of UK marine waters using phytoplankton communities. *Marine Pollution Bulletin*. 2007;55:91-103.
- [22] Lewitus AJ, Horner RA, Caronc DA, García-Mendoza E, Hickey BM, Hunter M, Huppertf DD, Kudela RM, Langlois GW, Largier JL, Lessardb EJ, RaLondej R, Jack Rensel JE, Struttonl PG, Trainer VL, Tweddle JF. Harmful algal blooms along the North American west coast region: History, trends, causes, and impacts. *Harmful Algae*. 2012;19:133-159.