

ARTÍCULO

Variabilidad mareal y temporal del zooplancton en la Bahía de Tumaco, Pacífico colombiano

Tidal and temporal variability of zooplankton in the Bay of Tumaco, colombian Pacific

Fecha recepción: 2010-10-19 / Fecha aceptación: 2010-11-03

Eliana Velasco Vinasco, eliorca@gmail.com

Efraín Rodríguez Rubio, erodriguez@dimar.mil.co

Dirección General Marítima, Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico, Área de Oceanografía Operacional, Grupo de Estudios Oceanográficos del Fenómeno El Niño, Capitanía de Puerto, San Andrés de Tumaco, Nariño, Colombia.



RESUMEN

En el presente estudio, se evaluaron las variaciones del zooplancton durante los cambios de marea y entre junio – noviembre 2009 en la bahía de Tumaco. La abundancia y biomasa húmeda fue variable en la zona de estudio, con registros de abundancia entre 342 – 38762 Ind m⁻³ y biomasa húmeda entre 0.34 – 23.54 g m⁻³. No se detectaron diferencias significativas en la abundancia (Mann - Whitney, $p = 0.07$) y la biomasa húmeda (Mann-Whitney, $p = 0.15$) entre marea subiendo y marea bajando en la bahía de Tumaco. Entre los meses de muestreo se detectaron diferencias significativas en la biomasa húmeda (Kruskal – Wallis $H = 23.83$, $p = 0.00$) y la abundancia (Kruskal – Wallis $H = 3.53$, $p = 0.52$). La temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y clorofila-*a* superficial no variaron significativamente durante los meses de muestreo (Kruskal – Wallis $p > 0.005$), mientras que con los cambios de marea se presentaron variaciones significativas en la temperatura y el oxígeno disuelto (Mann-Whitney, $p < 0.005$).

Palabras claves: Zooplancton, parámetros fisicoquímicos, Bahía de Tumaco, Pacífico colombiano.

ABSTRACT

The variations of zooplankton during tide changes and between June to November 2009 in the Bay of Tumaco have been evaluated in this study. Abundance and wet biomass was variable in the study area, with records of abundance between 342 a 38762 Ind m⁻³, as well as wet biomass between 0.34 and 23.54 g m⁻³. No significant differences have been detected in abundance (Mann - Whitney, $p = 0.07$) and wet biomass (Mann - Whitney, $p = 0.15$) between rising tide and falling tide in the Bay of Tumaco. Significant differences in wet biomass (Kruskal - Wallis $H = 23.83$, $p = 0.00$) and abundance (Kruskal - Wallis $H = 3.53$, $p = 0.52$) have been detected among sampling months. Temperature, salinity, dissolved oxygen and surface chlorophyll did not change significantly during the sampling months (Kruskal - Wallis $p > 0,005$), whereas tide changes show significant variations in temperature and dissolved oxygen (Mann - Whitney , $p < 0,005$).

Key words: Zooplankton, physical chemical parameters, bay of Tumaco, colombian Pacific.

INTRODUCTION

Estuaries are areas of great ecological, economic and social interest [1]. Estuaries are highly variable systems, where changes in circulation patterns and continental influences (e.g. rivers, waste stream) induce high variability in the scale ranges from hours to seasons [2]. Environmental changes in the physical - chemical conditions that occur temporally and spatially in the estuary are a direct consequence of the balance between tidal flow and the influence of river flow [3]. This interaction creates a strong environmental gradient which can modulate the structure of zooplankton communities. Generally, estuaries are characterized by high food supply, thus becoming of a great deal of importance as nursery areas for early development of a variety of species [4] and [5]. Along these lines of thought, as zooplankton is at the base of the food chain, it quickly responds to these environmental changes. Zooplankton thus becomes quite important since it is the element which converts and transfers the energy from phytoplankton to higher trophic levels [6]. As a result, the study of temporal and tidal variability of the zooplankton community is relevant for a better understanding of the functioning of

marine ecosystems. Therefore, the purpose of this study is that of evaluating changes in the zooplankton (abundance, biomass and composition) and their behavior with environmental parameters.

AREA OF STUDY

The Bay of Tumaco is the largest incoming national coastline between latitudes $1^{\circ} 45' N$ and $2^{\circ} 00' N$ and longitudes $78^{\circ} 30' W$ and $78^{\circ} 45' W$, thus comprising an area of approximately 350 km^2 , and with depths ranging between 0 and 50 m [7]. It is divided into two clearly differentiated regions: an oceanic region (northwest of the imaginary line between Bocagrande and Isla del Gallo), where depths are greater than 40 m, and an internal, shallow - type region, which displays bathymetry measurements ranging between 1 and 10 m. The Bay of Tumaco limits with the Pacific Ocean in its western part; its eastern limits in the continent in sectors known as Llanaje, Soledad, La Chorrera; the Bay of Tumaco limits with Isla del Gallo and Salahonda in the north, and in the south with Tumaco and Bocagrande islands.

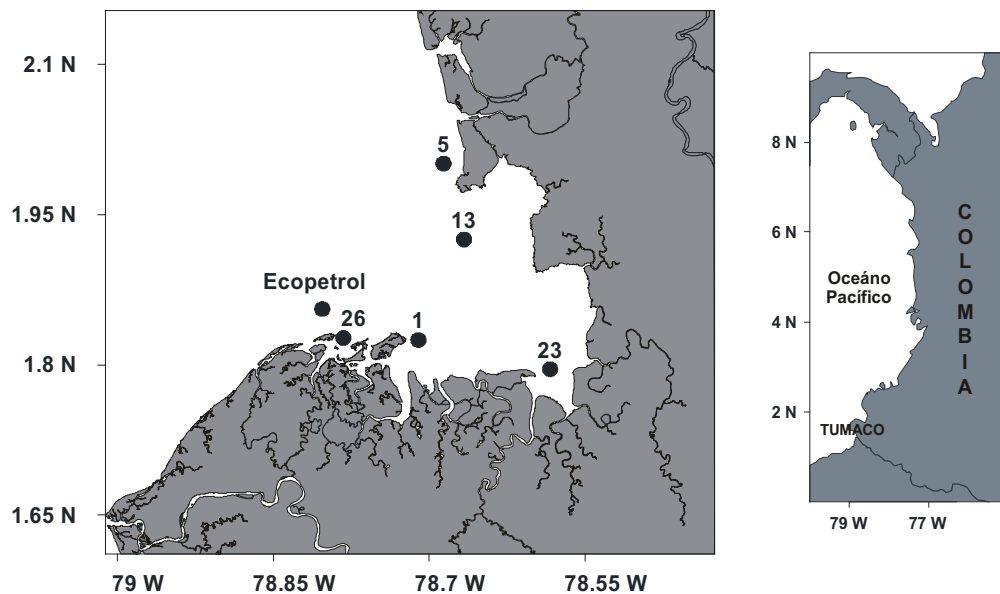


Figure 1. Location of the sampling stations in the Bay of Tumaco, Colombian Pacific.

INTRODUCCIÓN

Los estuarios son áreas de gran interés ecológico, económico y social [1]. Ellos son sistemas altamente variables, donde los cambios en los patrones de circulación, y las influencias continentales (e.j. ríos, flujo de residuos) inducen a una alta variabilidad en los rangos de escala de horas a temporadas [2]. Los cambios ambientales en las condiciones físico-químicas que se producen temporal y espacialmente en los estuarios, son consecuencia directa del equilibrio entre el flujo de las mareas y la influencia del caudal de los ríos [3]. Esta interacción genera un fuerte gradiente ambiental que puede llegar a modular la estructura de las comunidades zooplanctónicas. Generalmente, los estuarios se caracterizan por presentar una alta oferta alimentaria adquiriendo gran importancia como zonas de cría para el desarrollo temprano de una gran variedad de especies [4] y [5]. En este sentido, el zooplancton al estar en la base de la cadena trófica, responde rápidamente a estos cambios ambientales y adquiere gran importancia al ser el elemento que convierte y transfiere la energía del fitoplancton hacia los niveles tróficos superiores [6]. Como resultado, el estudio de la variabilidad temporal y mareal de la comunidad zooplanctónica es importante para un mejor entendimiento del funcionamiento de los ecosistemas marinos. Por lo anterior, el propósito del presente trabajo es evaluar las variaciones del zo-

oplancton (abundancia, biomasa y composición) y su comportamiento con los parámetros ambientales.

ÁREA DE ESTUDIO

La bahía de Tumaco, se constituye como la mayor entrante del litoral nacional, entre las latitudes 1°45' y 2°00' N y las longitudes 78°30' y 78°45' O, comprendiendo un área aproximadamente de 350 km², con profundidades que varían entre 0 y 50 m [7]. Se divide en dos regiones claramente diferenciadas: una de tipo oceánico (noroeste de la línea imaginaria entre Bocagrande e Isla del Gallo), donde las profundidades son superiores a los 40 m, y una interna, de tipo somero, cuya batimetría exhibe mediciones de 1 a 10 m. Está limitada en la parte oeste por el Océano Pacífico; al este por el continente en sectores conocidos como Llanaje, Soleda, la Chorrera; por el norte con la Isla del Gallo y Salahonda; y por el Sur con las islas Tumaco y Bocagrande. Para la bahía de Tumaco, el régimen medio del nivel del mar, reporta un promedio multianual de pleamares de 2.807 m, de bajamares de 0.294 m; un rango medio de marea de 2.513 m y un nivel medio del mar para la última década de 1.530 m [8]. La marea influye en la variación de la concentración de diferentes parámetros físicoquímicos y biológicos, por lo que se considera un factor determinante de la calidad de agua para la bahía de Tumaco [9] (figura 1).

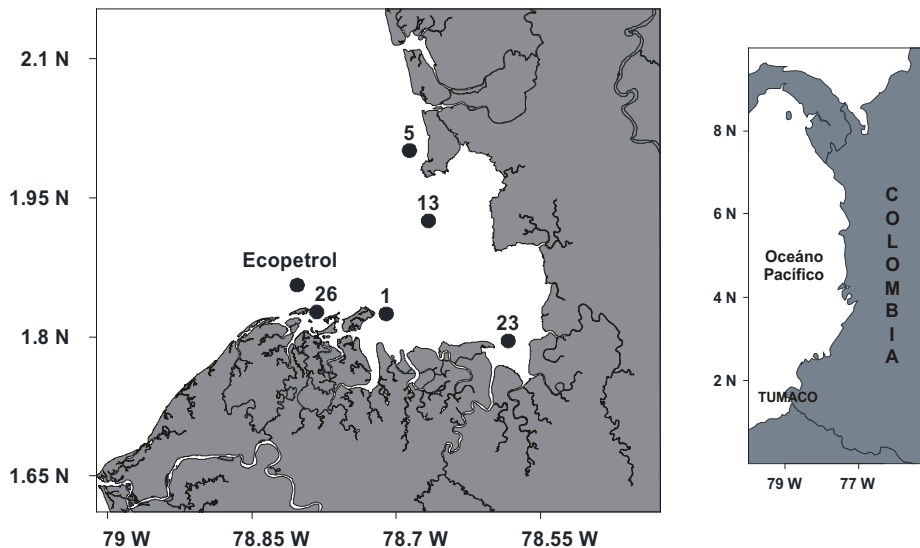


Figura 1. Ubicación de la estaciones de muestreo en la Bahía de Tumaco, Pacífico Colombiano.

The average sea level for the Bay of Tumaco reports a multi - year average of 2.807 m high tides, low tides of 0.294 m, a mean tide range of 2.513 m and a mean sea level for the past decade equivalent to 1.530 m [8]. Tide affects the variation of the concentration of different physical - chemical and biological parameters; this is why tide is considered a water quality determinant factor for the Bay of Tumaco [9] (figure 1).

METHODOLOGY

5 Monitoring processes were conducted between June - November 2009, following a previously established sampling plan with six stations in the Bay of Tumaco (figure 1). Data were collected in each of the stations regarding the biological and physical - chemical parameters, both in low tide and in high tide. For the collection of biological samples (zooplankton), horizontal tows were carried out using a minibongo net with 50 and 100 μm mesh pores, mouth diameter of 30 cm and fitted with General Oceanic digital flowmeters in order to measure the volume of water filtered and thus assess small fractions of zooplankton. The samples of the 100 μm collector were fixed in formaldehyde (4%) neutralized with sodium borate and were transported to the laboratory of biology of the Center for Oceanographic and Hydrographic Research of the Pacific (CCCP). Each sample was homogenized and divided into two equal parts using a Folsom splitter [10]; one half was used to study the structure of the zooplankton community and the other half was used for the analysis of wet biomass, following the methodology detailed in [11] and [12]. These values were multiplied by two in order to estimate the total value of the sample. In the laboratory, there were records of total abundance (Ind m^{-3}) and different taxonomic groups based on direct analysis of samples, using an ACCU - SCOPE inverted microscope and taxonomic identification guides [13], [14] and [15]. The gravimetric method (wet weight) was used in order to determine zooplankton biomass (gm m^{-3}), which consisted of passing the sample through a 23 - μm . Excess water was subsequently withdrawn using tissue paper, and sample was transferred to a previously weighed petri dish. Weight was finally recorded in triple copies using a ± 0.1 mg accuracy analytical balance [11] and [12]. For physical and chemical parameter sampling (temperature, salinity, dissolved oxygen and chlorophyll-*a*, surface water samples were extracted through a 5 - liter Niskin bottle. The content of the bottles was transferred in-field into 2,5 - liter containers previously marked and preserved in ice for further processing in the Chemistry

Laboratory of the Oceanographic and Hydrographic Research Center of the Pacific (CCCP). Data readings were recorded in - field for water temperature and pH with a WTW - Multi 340 I probe. The samples were analyzed following the procedures validated at the Laboratory of Chemistry of CCCP.

Since the distribution pattern of the biological and physical - chemical parameters are not normally distributed, nonparametric statistical tests such as the Mann - Whitney test were used so as to compare the values of the stations during low tide and high tide. The Kruskal - Wallis test was also used for comparison of values between the months of sampling, as well as the Nemenyi & Dunn Test [16]. A Spearman correlation analysis was conducted so as to assess the degree of association between abundance and zooplankton biomass and physical - chemical parameters. The STATISTICA program, version 7.0, was used for all of the abovementioned tests.

RESULTS AND DISCUSSION

Physical - chemical component

During the sampling period the sea surface temperature (SST) of the Bay of Tumaco had the lowest average in June ($27.87 \pm 0.40^\circ\text{C}$) and the highest average in September ($28.56 \pm 1.40^\circ\text{C}$). No significant differences were detected in SST among the sampling months (Kruskal - Wallis $H = 0.00$, $p = 1.00$). In the stations monitored during low tide the range was between 26.5 and 28.8 $^\circ\text{C}$. The average during high tide was 25.0 - 30.0 $^\circ\text{C}$. The highest average value of SST was recorded during high tide ($28.28 \pm 1.14^\circ\text{C}$); this is due to the fact that records for low tide were taken at early hours of the day and this is a highly influential factor in temperature. There were significant differences in SST values depending on tidal variation (Mann - Whitney $p = 0.003$) (figure 2A). The behavior of the SST in the inland area of the Bay of Tumaco is a response to other dynamics managed mainly by the contribution of warm waters of continental origins, as well as the effect of bathymetry and tides; as the zone is a very shallow one, warming produced by solar radiation is more intense and spreads quickly throughout the body of water of the Bay of Tumaco [17]. Surface salinity in the Bay of Tumaco had the lowest average in September (25.47 ± 7.55) and the highest average in October (28.91 ± 2.42). No significant differences were detected in surface salinity between the sampling months (Kruskal - Wallis $H = 8.92$, $p = 0.06$).

METODOLOGÍA

Se realizaron 5 monitoreos entre junio - noviembre de 2009, siguiendo un plan de muestreo de 6 estaciones previamente establecidas en la bahía de Tumaco (figura 1). En cada una de las estaciones se tomaron datos de los parámetros biológicos y físico-químicos, tanto en marea baja como en marea alta. Para la toma de muestras biológicas (zooplancton), se realizaron arrastres horizontales utilizando una red minibongo con poros de malla de 50 y 100 μm , diámetro de boca de 30 cm y provista de flujómetros digitales General Oceanic para cuantificar el volumen de agua filtrada, con el fin de evaluar las fracciones pequeñas de zooplancton. Las muestras del colector de 100 μm , se fijaron en formaldehído (4%) neutralizado con borato de sodio y fueron transportadas al laboratorio de biología del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCC). Cada muestra fue homogenizada y dividida en dos porciones iguales por medio de un separador Folsom [10], una porción se utilizó para estudiar la estructura de la comunidad zooplanctónica y la otra para el análisis de biomasa húmeda, siguiendo la metodología detallada en [11] y [12]. Estos valores se multiplicaron por dos para estimar el valor total de la muestra. En el laboratorio, se realizaron registros de abundancia total (Ind m^{-3}) y de los diferentes grupos taxonómicos con base en el análisis directo de muestras, utilizándose un microscopio invertido ACCU-SCOPE y las guías de identificación taxonómica [13], [14] y [15]. Para determinar la biomasa zooplanctónica (g m^{-3}), se utilizó el método gravimétrico (peso húmedo), la cual consistió en pasar la muestra por un tamiz de 23 μm , se extrajo el exceso de agua con ayuda de un papel absorbente, y se transfirió dicha muestra a una caja de petri previamente pesada, finalmente se registró el peso por triplicado utilizando una balanza analítica de ± 0.1 mg de precisión [11] y [12]. Para la toma de parámetros físico-químicos (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y clorofila-*a*, se tomaron en campo muestras de agua superficial a través de una botella Niskin de 5 litros. En campo, el contenido de las botellas fue rebasado en bidones de 2.5 litros, previamente marcados y preservados en hielo para su posterior procesamiento en el Laboratorio de Química del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCC). En campo se registró la lectura de datos correspondientes a temperatura y pH del agua con una sonda WTW, Multi 340. Las muestras se analizaron siguiendo los procedimientos validados en el laboratorio de Química del CCCC.

Ya que el patrón de distribución de los parámetros biológicos y físico-químicos no tienen una distribución

normal, se utilizaron pruebas estadísticas No Paramétricas como el Test de Mann – Whitney con el fin de comparar los valores de las estaciones durante marea baja y marea alta; así como también se utilizó la Prueba de Kruskal – Wallis para hacer comparaciones de los valores entre los meses de muestreo y el Test de Nemenyi & Dunn [16]. Se realizó un análisis de correlación de Spearman para evaluar el grado de asociación entre la abundancia y la biomasa zooplanctónica y los parámetros físico-químicos. Para todas las pruebas anteriores se utilizó el programa STATISTICA versión 7.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Componente físicoquímico

Durante el período de muestreo la temperatura superficial del agua (TSM) de la bahía de Tumaco registró el menor valor promedio en junio ($27.87 \pm 0.40^\circ\text{C}$) y el mayor en septiembre ($28.56 \pm 1.40^\circ\text{C}$). No se detectaron diferencias significativas en la TSM entre los meses de muestreo (Kruskal - Wallis $H = 0.00$; $p = 1.00$). En las estaciones monitoreadas durante la marea baja, el rango estuvo comprendido entre $26.5 - 28.8^\circ\text{C}$ y en marea alta entre $25.0 - 30.0^\circ\text{C}$. El mayor valor promedio de TSM se registró durante marea alta ($28.28 \pm 1.14^\circ\text{C}$), esto obedece a que los registros para marea baja fueron tomados a tempranas horas del día y este es un factor que influye altamente en la temperatura. Se presentaron diferencias significativas de la TSM según la variación mareal (Mann – Whitney $p = 0.003$) (figura 2A). El comportamiento de la TSM en la zona del interior de la bahía de Tumaco responde a otra dinámica manejada principalmente por el aporte de aguas cálidas de origen continental y al efecto de la batimetría y las mareas, ya que por ser una zona muy somera el calentamiento producido por la radiación solar es más intenso y se extiende rápidamente a lo largo y ancho del cuerpo de agua de la bahía de Tumaco [17]. La salinidad superficial de la bahía de Tumaco registró el menor valor promedio en septiembre (25.47 ± 7.55) y el mayor en octubre (28.91 ± 2.42). No se detectaron diferencias significativas en la salinidad superficial entre los meses de muestreo (Kruskal - Wallis $H = 8.92$; $p = 0.06$).

En la bahía de Tumaco, la salinidad tiene una dependencia directa con la altura mareal, en las estaciones monitoreadas durante la marea alta a nivel superficial el rango estuvo comprendido entre $14.30 - 32.0$ y en marea baja entre $7.90 - 31.90$, sin embargo estos valores pueden variar permanentemente. A pesar de que los

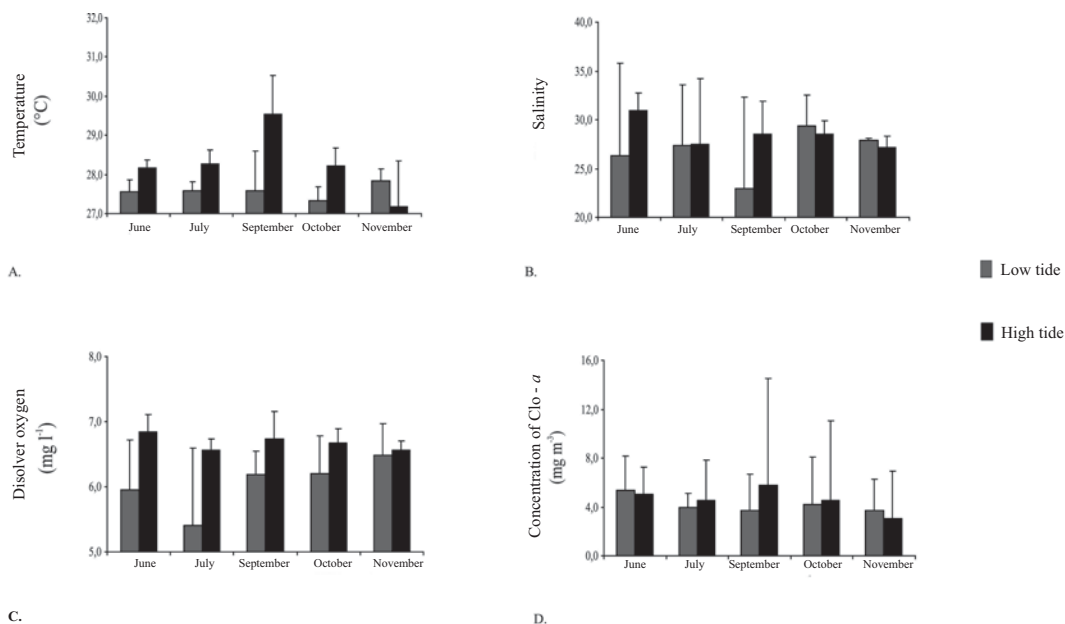


Figure 2. Mean values and standard deviation of temperature (A), salinity (B), dissolved oxygen (C) and chlorophyll-*a*, surface water in the Bay of Tumaco, during tide changes and the sampling months of 2009.

Salinity in the Bay of Tumaco has direct dependence on tidal regime; the stations surveyed at high tide on the surface had a range between 14.30 and 32.0, range at low tide was between 7.90 and 31.90. However, the afore-mentioned values may vary permanently. However, these values can vary continuously were higher at high tide, no significant differences were detected in surface salinity with tidal change (Mann - Whitney $p = 0.54$) (figure 2B). Although salinity values were higher at high tide. This is probably an indication of the degree of mixing of waters of the bay with fresh water from rivers at high tide, because water coming from rivers at high tide is not distributed far from the mouth of the rivers due to the strength of the sea water entering the bay with the tide. When tide lowers (ebb tide) ocean currents begin to weaken and waters with low salinity form a high salinity gradient over the central part of the bay caused by the tidal currents interactions [17]. Surface dissolved oxygen in the Bay of Tumaco had the lowest average in July (5.99 ± 1.00 mg L^{-1}) and the highest average in November (6.52 ± 0.35 mg L^{-1}). No significant differences were detected in dissolved oxygen between the sampling months (Kruskal - Wallis $H = 4.40$, $p = 0.36$). Range at surface level in the stations of the Bay of Tumaco surveyed during low tide was between 3.09 - 6.92 mg L^{-1} . At high tide, range was between 6.25 - 7.32 mg L^{-1} . The highest average value of dissolved oxygen was recorded during high tide (6.67 ± 0.26

mg L^{-1}), detecting thus significant differences between the values of dissolved oxygen with tide changes (Mann - Whitney $p = 0.00$). This phenomenon can be explained by the fact that entries for low tide changes were recorded at different times of the day, as DO levels fluctuate constantly. Thus, oxygen at the surface at noon can be found at the level of saturation as in our case, since the majority of records for high tide were collected during the abovementioned time of the day (figure 2C). Concentration of chlorophyll-*a* at surface level in the Bay of Tumaco had the lowest average in November (3.38 ± 3.14 mg m^{-3}) and the highest average in June (5.19 ± 2.43 mg m^{-3}). No significant differences in the concentration of chlorophyll-*a* between the months of sampling (Kruskal-Wallis $H = 5.92$, $p = 0.21$). The range of values of chlorophyll-*a* at low tide on the surface was between 1.00 and 10.54 mg m^{-3} , and the range at high tide was between 0.65 and 23.55 mg m^{-3} . The highest value of chlorophyll-*a* was recorded at high tide (4.59 ± 5.16 mg m^{-3}). Although the values of chlorophyll-*a* were higher at high tide, there were no significant differences in chlorophyll-*a* to the tide changes (Mann - Whitney $p = 0.41$) (figure 2D). Concentration of chlorophyll is one of the main indicators of phytoplankton biomass, and hence primary production, in oceans. For this reason, high availability of phytoplankton generates favorable trophic conditions for zooplankton and subsequent trophic levels.

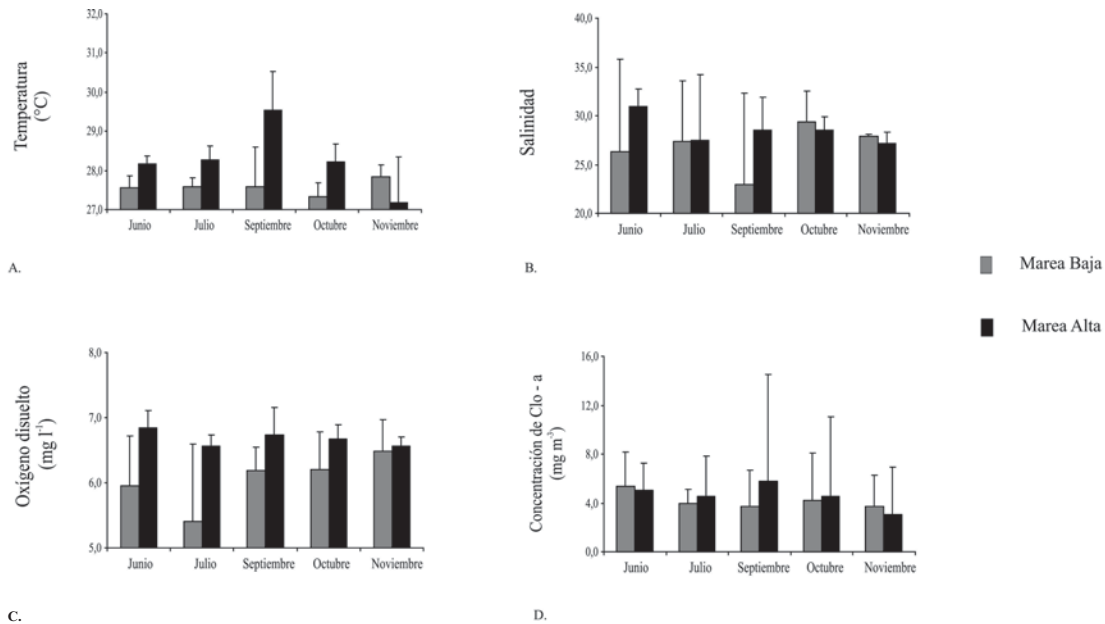


Figura 2. Valores promedio y desviación estándar de la temperatura (A), salinidad (B), oxígeno disuelto (C) y concentración de clorofila-*a*, superficial del agua en la Bahía de Tumaco, durante los cambios de marea y los meses de muestreo de 2009.

valores de salinidad fueron mayores en marea alta, no se detectaron de clorofila-*a*, superficial del agua en la bahía de Tumaco, dudiferencias significativas en la salinidad superficial con el cambio de marea (Mann-Whitney $p = 0.54$) (figura 2B). Esto probablemente es un indicio del grado de mezcla de las aguas de la bahía con las aguas dulces provenientes de los ríos, ya que en marea alta el agua que sale de los ríos no se distribuye lejos de la boca de los mismos debido a la fuerza del agua que viene entrando hacia la bahía con la marea. Cuando la marea baja (reflujo) las corrientes oceánicas empiezan a debilitarse y las aguas con baja salinidad forman un gradiente salino alto sobre la parte central de la bahía producido por la interacción de las corrientes de marea [17]. El oxígeno disuelto superficial de la bahía de Tumaco registró el menor valor promedio en julio (5.99 ± 1.00 mg L^{-1}) y el mayor en noviembre (6.52 ± 0.35 mg L^{-1}). No se detectaron diferencias significativas en el oxígeno disuelto entre los meses de muestreo (Kruskal-Wallis $H = 4.40$; $p = 0.36$). En la bahía de Tumaco, en las estaciones monitoreadas durante la marea baja a nivel superficial el rango estuvo comprendido entre 3.09 – 6.92 mg/L y en marea alta entre 6.25 – 7.32 mg L^{-1} . El mayor valor promedio de oxígeno disuelto se registró durante marea alta (6.67 ± 0.26 mg L^{-1}), detectándose

así diferencias significativas entre los valores de oxígeno disuelto con los cambios de marea (Mann – Whitney $p = 0.00$). Esto obedece a que los registros para los cambios de marea baja fueron tomados a diferentes horas del día, ya que los niveles de OD fluctúan continuamente; así que al medio día en la superficie el oxígeno puede encontrarse en el nivel de sobresaturación como es nuestro caso, ya que la mayoría de registros para marea alta se hicieron en estas horas (figura 2C). La concentración de clorofila-*a* a nivel superficial de la bahía de Tumaco registró el menor valor promedio en noviembre (3.38 ± 3.14 mg m^{-3}) y el mayor valor promedio en junio (5.19 ± 2.43 mg m^{-3}). No se detectaron diferencias significativas en la concentración de clorofila-*a* entre los meses de muestreo (Kruskal - Wallis $H = 5.92$; $p = 0.21$). Durante la marea baja a nivel superficial el rango de valores de clorofila-*a* estuvo entre 1.00 – 10.54 mg m^{-3} y en marea alta entre 0.65 – 23.55 mg m^{-3} . El mayor valor promedio de clorofila-*a* se registró en marea alta (4.59 ± 5.16 mg m^{-3}). A pesar de que los valores de clorofila-*a* fueron más altos en marea alta, no se detectaron diferencias significativas en la concentración de clorofila-*a* con los cambios de marea (Mann – Whitney $p = 0.41$) (figura 2D). La concentración de clorofila es uno de los principales indicadores de biomasa fitoplanctónica y

Zooplankton composition

During each month of sampling, 24 zooplankton groups were collected, which are represented in 45 families and 35 genera. The above – mentioned groups stand out due to their relative abundance of copepods in 79%, comprising (27% *nauplii*, 19% *Calanidae*, 14% *Oithonidae*, 12% *Euterpinidae*, 4% *Paracalanidae*, 2% *Arcatiidae* and 1% *Oncaeiidae*), followed by tintinnids (*Ptychocylidae*) with 11%, representing thus 90% of the zooplankton community. Apendicularia (*Oikopleuridae*) was found in smaller proportions (3%), as well as bivalves (*Mytilidae*) with 2% and 5% others, thus making for

the rest of the population of zooplankton organisms (table 1). As for temporal distribution, copepod *nauplii* dominated in all sampling months. An increase in total abundance was observed in July (42651 Ind m⁻³). *Calanidae* were the second most highly abundant group, presenting the highest values of abundance in June (20944 Ind m⁻³) and July (20105 Ind m⁻³). The Oithonidae family followed in third place and is represented by the *Oithona sp* genus, presenting its highest value in July (17 933 Ind m⁻³). The Euterpinidae family, with *Euterpina acutifrons*, presented its highest values in June (14243 Ind m⁻³) and July (13702 Ind m⁻³).

Table 1. Abundance (Ind m⁻³) of zooplankton groups collected in the Bay of Tumaco in 2009.

GROUPS	JUNE	JULY	SEPTEMBER	OCTOBER	NOVEMBER	TOTAL
Apendicularia (<i>Oikopleura sp</i>)	3276	3430	1832	2147	1654	12339
Bivalvos						
Mytilidae (<i>Mytilus sp</i>)	1545	2197	1402	1126	976	7246
Bryozoa	30	37	19	30	22	138
Copépodos						
Nauplios Copépodos	23210	42651	22303	16077	11202	115444
Arcatiidae (<i>Acartia sp</i>)	1458	2080	789	1042	727	6096
Calanidae	20944	20105	16312	12817	10180	80357
Calocalanidae	139	112	71	92	81	494
Clausocalanidae	28	18	8	15	10	79
Eucalanidae (<i>Eucalanus sp</i>)	692	774	460	430	314	2669
Metrinidae (<i>Pleuromamma sp</i>)	14	19	21	11	10	75
Paracalanidae (<i>Paracalanus sp</i>)	4156	4815	2050	2696	1963	15679
Pontellidae (<i>Labidocera sp</i>)	70	74	28	43	29	244
Temoridae (<i>Temora sp</i>)	833	1258	437	497	310	3335
Corycaeidae (<i>Corycaeus sp</i>)	324	305	213	247	209	1298
Corycaeidae (<i>Farranula sp</i>)	85	73	56	59	57	330
Oithonidae (<i>Oithona sp</i>)	15752	17933	10650	9491	6640	60465
Oncaeiidae (<i>Oncaea sp</i>)	2567	3106	1529	1601	1115	9917
Euterpinidae (<i>Euterpina acutifrons</i>)	14243	13702	9459	8940	6989	53333
Ectinosomatidae (<i>Microsetella sp</i>)	8	6	3	5	3	26
Pseudopeltidae (<i>Clytemnestra sp</i>)	36	61	19	26	17	159
Monstrillidae (<i>Cymbasoma sp</i>)	6	5	3	4	3	21
Cladóceros (<i>Pseudevadne tergestina</i>)	101	66	32	55	39	294
Chaetognathos						
(<i>Sagitta sp</i>)	133	133	94	88	77	524
(<i>Parasagitta sp</i>)	350	334	182	224	167	1258
Echinoidea (<i>Larva Pluteus</i>)	208	174	274	129	127	913
Foraminifero (<i>Globigerina sp</i>)	15	13	10	11	11	61
Hydromedusae	4	4	3	3	4	18
Gastropodo (Larva veliger)	593	514	437	322	270	2136
Nauplios Cirripedios	90	101	76	63	55	386
Nemertea	4	6	5	4	3	23
Ostracodo (<i>Cypris sp</i>)	376	440	529	238	227	1810
Polychaeta						
Magelonidae (<i>Magelona sp</i>)	1	2	2	1	1	8
Spionidae (<i>Spionid sp</i>)	183	187	208	120	115	812

Continue...

por lo tanto de producción primaria en los océanos. Por esta razón, una alta disponibilidad de fitoplancton genera condiciones tróficas favorables para el zooplancton y para los niveles tróficos subsecuentes.

Composición Zooplancton

Durante todos los meses de muestreo, fueron colectados 24 grupos zooplanctónicos representados en 45 familias y 35 géneros, destacándose por su abundancia relativa los Copépodos con un 79% (*Nauplios* 27%, *Calanidae* 19%, *Oithonidae* 14 %, *Euterpinidae* 12%, *Paracalanidae* 4%, *Oncaeiidae* 2% y *Arcatiidae* 1%), seguidos por los Tintínidos (*Ptychocylidae*) con un 11%, representando así el 90% de la comunidad zooplanctónica. En

menor proporción se encontraron Apendicularia (*Oikopleuridae*) con 3%, Bivalvos (*Mytilidae*) con 2% y otros con el 5%, que constituyen el resto de la población de organismos zooplanctónicos (tabla 1). En cuanto a la distribución temporal, los *nauplios* de copépodos dominaron en todos los meses de muestreo, un incremento en su abundancia total fue observado en el mes de julio (42651 Ind m⁻³). Los *Calanidae* fueron el segundo grupo más abundante, presentando sus valores de abundancia más altos en junio (20944 Ind m⁻³) y julio (20105 Ind m⁻³). Seguido está la familia *Oithonidae* representada por el género *Oithona sp*, presentando el valor más alto durante julio (17933 Ind m⁻³). La familia *Euterpinidae* con *Euterpina acutifrons* presentó valores altos en junio (14243 Ind m⁻³) y julio (13702 Ind m⁻³).

Tabla 1. Abundancia (Ind m⁻³) de los grupos zooplanctónicos colectados en la Bahía de Tumaco.

GRUPOS	JUNIO	JULIO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	TOTAL
Apendicularia (<i>Oikopleura sp</i>)	3276	3430	1832	2147	1654	12339
Bivalvos						
Mytilidae (<i>Mytilus sp</i>)	1545	2197	1402	1126	976	7246
Bryozoa	30	37	19	30	22	138
Copépodos						
Nauplios Copépodos	23210	42651	22303	16077	11202	115444
Arcatiidae (<i>Acartia sp</i>)	1458	2080	789	1042	727	6096
Calanidae	20944	20105	16312	12817	10180	80357
Calocalanidae	139	112	71	92	81	494
Clausocalanidae	28	18	8	15	10	79
Eucalanidae (<i>Eucalanus sp</i>)	692	774	460	430	314	2669
Metridiidae (<i>Pleuromamma sp</i>)	14	19	21	11	10	75
Paracalanidae (<i>Paracalanus sp</i>)	4156	4815	2050	2696	1963	15679
Pontellidae (<i>Labidocera sp</i>)	70	74	28	43	29	244
Temoridae (<i>Temora sp</i>)	833	1258	437	497	310	3335
Corycaeiidae (<i>Corycaeus sp</i>)	324	305	213	247	209	1298
Corycaeiidae (<i>Farranula sp</i>)	85	73	56	59	57	330
Oithonidae (<i>Oithona sp</i>)	15752	17933	10650	9491	6640	60465
Oncaeiidae (<i>Oncaea sp</i>)	2567	3106	1529	1601	1115	9917
Euterpinidae (<i>Euterpina acutifrons</i>)	14243	13702	9459	8940	6989	53333
Ectinosomatidae (<i>Microsetella sp</i>)	8	6	3	5	3	26
Pseudopeltiidae (<i>Clytemnestra sp</i>)	36	61	19	26	17	159
Monstrillidae (<i>Cymbasoma sp</i>)	6	5	3	4	3	21
Cladóceros (<i>Pseudevadne tergestina</i>)	101	66	32	55	39	294
<i>Chaetognathos</i>						
(<i>Sagitta sp</i>)	133	133	94	88	77	524
(<i>Parasagitta sp</i>)	350	334	182	224	167	1258
Echinoidea (Larva Pluteus)	208	174	274	129	127	913
Foraminifero (<i>Globigerina sp</i>)	15	13	10	11	11	61
Hydromedusae	4	4	3	3	4	18
Gastropodo (Larva veliger)	593	514	437	322	270	2136
Nauplios Cirripedios	90	101	76	63	55	386
Nemertea	4	6	5	4	3	23
Ostracodo (<i>Cypris sp</i>)	376	440	529	238	227	1810
Polychaeta						
<i>Pasa...</i>						

Continue...

GROUPS	JUNE	JULY	SEPTEMBER	OCTOBER	NOVEMBER	TOTAL
Spionoidae (Larva Trochophora)	338	297	303	214	185	1338
Pterópodos						
(<i>Creseis</i> sp)	357	332	333	262	338	1621
(<i>Limacina</i> sp)	118	231	110	98	81	638
Radiolario	7	4	2	4	2	20
Siphonophoro						
Diphyndidae (<i>Lensia</i> sp)	20	24	20	16	20	100
Tintínidos						
Codonellidae (<i>Codonellopsis</i> sp)	18	11	8	6	4	46
Ptychocylidae (<i>Favella</i> sp)	15682	14425	8877	7136	4602	50722
Decápodos						
Zoea Porcellanidae (<i>Pachycheles</i> <i>haiguae</i>)	3	4	4	2	2	15
Zoea Majidae	111	110	67	72	55	415
Zoea Pinnotheridae	2	2	1	2	1	8
Zoea Portunidae	14	11	8	7	5	46
Sergestidae	32	27	17	22	17	115
Sicyoniidae (<i>Sicyonia</i> sp)	20	20	13	16	15	83
Stomatopoda						
Squilla Stomatopoda (<i>Gonadactylus</i> sp)	7	8	7	7	8	37
Larvas Peces						
Engraulidae (<i>Cetengraulis</i> sp)	1	1				2
Clupeidae (<i>Opisthonema</i> sp)	1	1	2	1	1	6
Larvas Peces (Vitelinas)	2	2	2	1	1	8
Huevos Peces Redondos	112	118	51	71	52	403
Huevos Peces Ovalados	111	123	47	74	51	406
Larva Cephalocordada	16	10	31	8	9	73
TOTAL	108449	130498	79417	66672	49056	434091

Tintinnids represented by the *Favella* sp family exceeded the abundance values of *Euterpina acutifrons* during June (15682 Ind m⁻³) and July (14425 Ind m⁻³), whereas clear decrease was observed during September, October and November, thereby ranking fourth in abundance groups. To a lesser proportion, *Paracalanus* sp, *Oikopleura* sp, *Mytilus* sp and *Acartia* sp can be found, presenting their highest values of abundance in July (figure 3). As for tidal distribution, it was observed that during low tide, copepod nauplii had the highest zooplankton abundance (58604 Ind m⁻³), followed by *Euterpina acutifrons* (23985 Ind m⁻³), Calanidae (19154 Ind m⁻³), *Favella* sp (18312 Ind m⁻³) and *Paracalanus* sp (11102 Ind m⁻³). At high tide, instead, the following groups were numerically dominant: Calanidae (61203 Ind m⁻³) followed by copepod nauplii (56840 Ind m⁻³), *Oithona* sp (53058 Ind m⁻³), *Favella* sp (32410 Ind m⁻³) and *Euterpina acutifrons* (29384 Ind m⁻³) (figure 4). Copepods were represented in greater proportion of the following families: Calanidae, Oithonidae and Euterpinae. The Calanidae and *Oithona* sp genus were found

to be dominant in this study. This may be due to their continuous reproductive behavior, rapid larval development, and the fact that these groups adapt well to the changing environmental conditions of the mangroves. Similar results were found in Malaysian waters, and it was noted that the abundance of *Oithona* sp. was mainly due to their high reproductive capacity and appropriate environmental conditions of the ecosystem [18]. Moreover, tintinnids are an important component of the community of planktonic protozoa in most marine environments [19], and they may be important in estuarine waters [20] and [21]. In Canal de São Sebastião, it was found that tintinnids under estuarine influence represented the most abundant group of the microzooplankton community [22].

Great abundance, rapid reproduction rates and short generation times, together with a high ability to use a broad spectrum of food resources, increase the importance of tintinnids as a key link between the microbial food and the metazoan compartments [23] and

Viene..

GRUPOS	JUNIO	JULIO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	TOTAL
Magelonidae (<i>Magelona sp</i>)	1	2	2	1	1	8
Spionidae (<i>Spionid sp</i>)	183	187	208	120	115	812
Spionoidae (Larva Trochophora)	338	297	303	214	185	1338
Pterópodos						
(<i>Creseis sp</i>)	357	332	333	262	338	1621
(<i>Limacina sp</i>)	118	231	110	98	81	638
Radiolario	7	4	2	4	2	20
Siphonophora						
Diphyndidae (<i>Lensia sp</i>)	20	24	20	16	20	100
Tintínidos						
Codonellidae (<i>Codonellopsis sp</i>)	18	11	8	6	4	46
Ptychocylidae (<i>Favella sp</i>)	15682	14425	8877	7136	4602	50722
Decápodos						
Zoea Porcellanidae (<i>Pachycheles haigue</i>)	3	4	4	2	2	15
Zoea Majidae	111	110	67	72	55	415
Zoea Pinnotheridae	2	2	1	2	1	8
Zoea Portunidae	14	11	8	7	5	46
Sergestidae	32	27	17	22	17	115
Sicyoniidae (<i>Sicyonia sp</i>)	20	20	13	16	15	83
Stomatopoda						
Squilla Stomatopoda (<i>Gonadactylus sp</i>)	7	8	7	7	8	37
Larvas Peces						
Engraulidae (<i>Cetengraulis sp</i>)	1	1				2
Clupeidae (<i>Opisthonema sp</i>)	1	1	2	1	1	6
Larvas Peces (Vitelinas)	2	2	2	1	1	8
Huevos Peces Redondos	112	118	51	71	52	403
Huevos Peces Ovalados	111	123	47	74	51	406
Larva Cephalocordada	16	10	31	8	9	73
TOTAL	108449	130498	79417	66672	49056	434091

Los tintínidos representados por *Favella sp*, sobrepasaron los valores de abundancia de *Euterpina acutifrons* durante junio (15682 Ind m⁻³) y julio (14425 Ind m⁻³), mientras que durante septiembre, octubre y noviembre presentaron una clara disminución, colocándolos en el cuarto lugar como grupo más abundante. En menor proporción se encuentra *Paracalanus sp*, *Oikopleura sp*, *Mytilus sp* y *Acartia sp*, presentando sus valores más altos de abundancia en el mes de julio (figura 3). Referente a la distribución mareal, se observó que durante marea baja, los nauplios de copépodos presentaron el valor más alto de abundancia zooplanctónica (58604 Ind m⁻³), seguidos por *Euterpina acutifrons* (23985 Ind m⁻³), *Calanidae* (19154 Ind m⁻³), *Favella sp* (18312 Ind m⁻³) y *Paracalanus sp* (11102 Ind m⁻³). En marea alta, en cambio los *Calanidae* fueron numéricamente dominantes (61203 Ind m⁻³), seguidos por los nauplios de copépodos (56840 Ind m⁻³), *Oithona sp* (53058 Ind m⁻³), *Favella sp* (32410 Ind m⁻³) y *Euterpina acutifrons* (29384 Ind m⁻³) (figura 4). Los copépodos estuvieron representados en mayor proporción por las familias *Calanidae*, *Oithonidae* y *Euterpinidae*. Los *Calanidae* y el género *Oithona*

sp, fueron encontrados como dominante en el presente estudio. Esto puede deberse a su comportamiento reproductivo continuo, desarrollo larval rápido y que se adaptan bien a las cambiantes condiciones ambientales de los manglares. Se encontraron resultados similares en aguas malasias y señalaron que la abundancia de *Oithona sp*. se debió principalmente a su alta capacidad reproductora y a las condiciones ambientales apropiadas del ecosistema [18]. Por otra parte los tintínidos son un importante componente de la comunidad de protozoos planctónicos en la mayoría de ambientes marinos [19], y ellos pueden ser importantes en aguas estuarinas [20] y [21]. En Canal de São Sebastião, se encontró que bajo la influencia estuarina, los tintínidos representaron el grupo más abundante de la comunidad microzooplanctónica [22].

La gran abundancia, las tasas de reproducción rápida y cortos tiempos de generación, junto con una alta capacidad para utilizar un amplio espectro de recursos alimentarios, aumentan la importancia de tintínidos como un vínculo clave entre la trófica microbiana y los

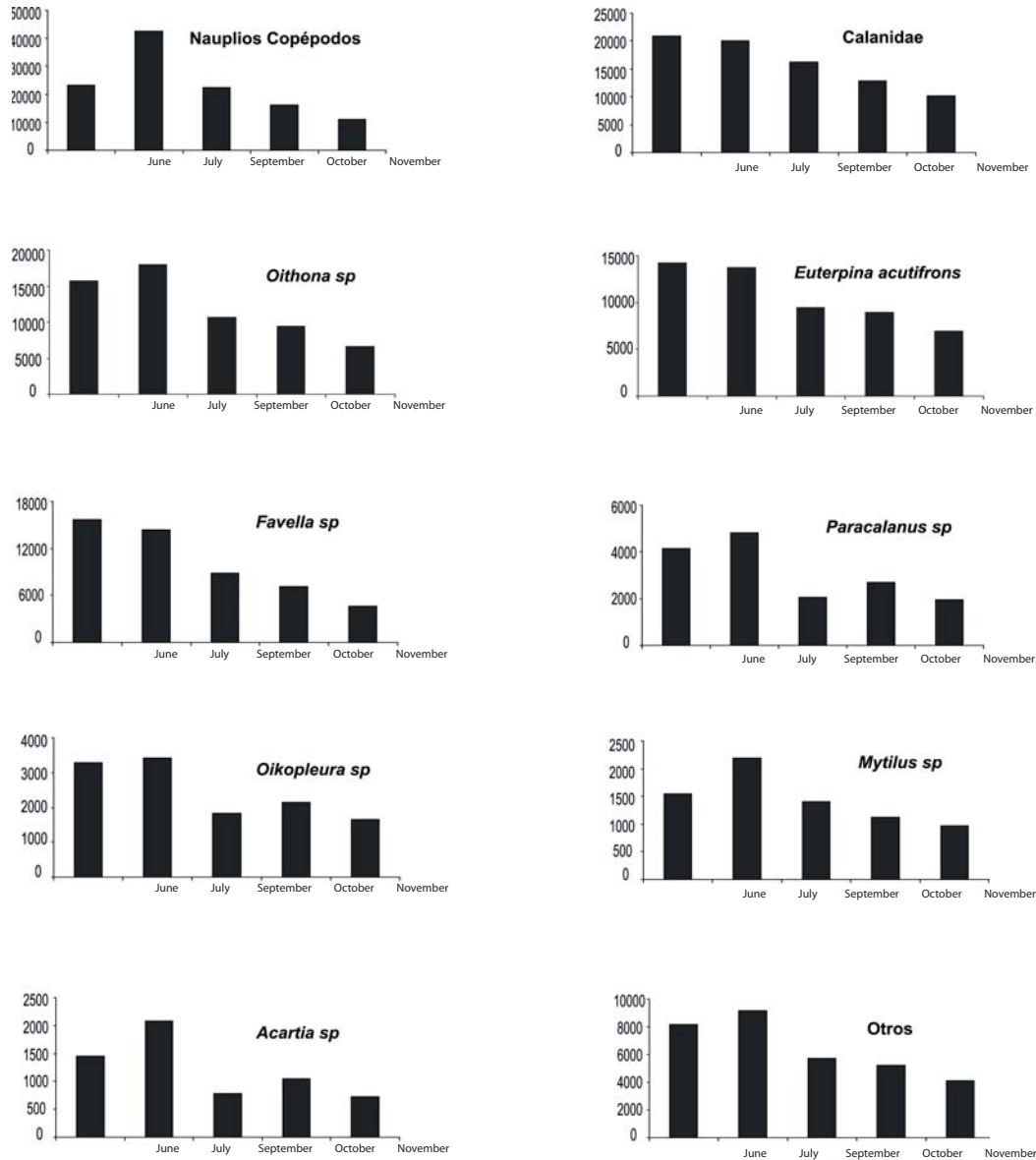


Figure 3. Seasonal fluctuations in abundance of the most abundant zooplankton species and groups in the Bay of Tumaco, sampling during 2009.

Some species have an apparent cosmopolitan distribution in seas and oceans [24]. The *Favella sp. genus* has been commonly found in coastal and estuarine areas with high density in certain periods. The relatively high abundance of *Favella sp.* significantly influences the zooplankton community structure in the present study, due to the high reproductive capacity of this organism.

Similarly, dominance of the *tintinnids genus* is notable in the majority of the microzooplankton biomass in the mangrove waters and the Coleroon adjacent estuarine complex [25] and [26]. Overall, species distribution along the tidal cycle reflects superposition of different patterns of marine and estuarine species.

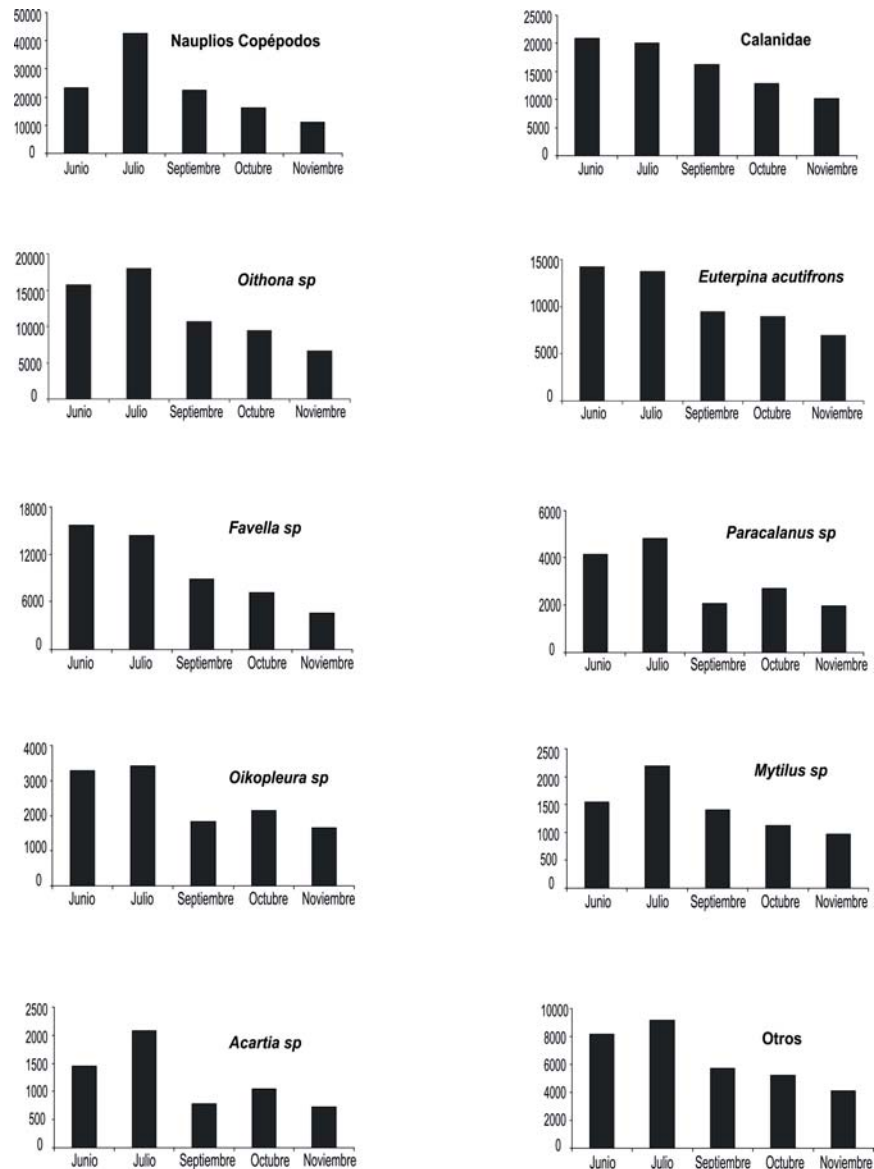


Figura 3. Fluctuaciones temporales en la abundancia zooplanctónica de las más abundantes especies y grupos en la Bahía de Tumaco, durante los meses de muestreo de 2009.

compartimentos de metazoos [23] y [21]. Algunas especies tienen una aparente distribución cosmopolita en los mares y océanos [24]. El género *Favella sp.*, ha sido comúnmente encontrado en costas y áreas estuarinas, con una alta densidad en algunos períodos. La abundancia relativamente alta de *Favella sp.*, notablemente influye la estructura de la comunidad zooplanctónica en el presente estudio, debido a la alta capacidad re-

productiva de este organismo. De manera parecida, notaron este dominio del género de tintínidos en la mayor parte de la biomasa del microzooplankton, en las aguas de los manglares y del complejo estuarino adyacente de Coleroon [25] y [26]. En términos generales, la distribución de especies a lo largo del ciclo de las mareas refleja una superposición de diferentes patrones de las especies marinas y estuarinas.

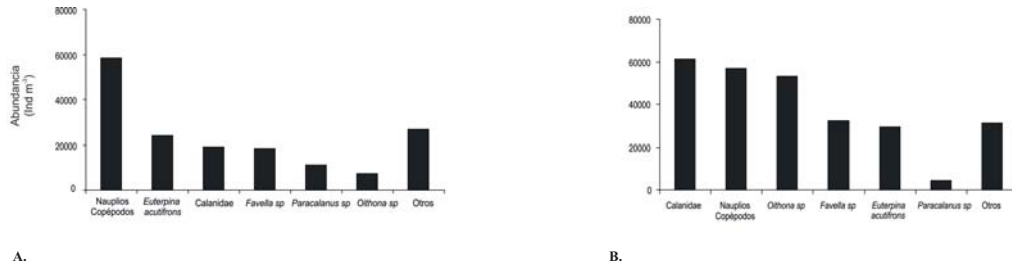


Figure 4. Fluctuations in the abundance of the most abundant zooplankton species and groups at low tide (A) and high tide (B) in the Bay of Tumaco, during tide changes, 2009.

Zooplankton abundance and biomass

Zooplankton abundance showed temporal and tidal distribution in the Bay of Tumaco (figure 5), with values between 342 and 38762 Ind m⁻³. The highest values of abundance were recorded at high tide every month. At high tide, the highest average abundance was 11797 ± 13855 Ind m⁻³, whereas the corresponding value was 9953 ± 10662 Ind m⁻³ at low tide, both values were recorded during the month of July. The minimum average values of abundance were found during the month of November (2746 ± 2034 Ind m⁻³) and September (3393 ± 2427 Ind m⁻³) at low tide (figure 6). No significant variation in zooplankton abundance was found between the sampling months (Kruskal - Wallis $H = 3.23$, $p = 0.52$) and tide changes (Mann - Whitney $p = 0.07$) which may reveal differences for this parameter of assessment of secondary production. This can be explained by the behavior of the oceanographic and biological variables in

the study area. One of the factors which exert most influence on the distribution of plankton is temperature; temperature changes in different water bodies, thereby causing zooplankton to undergo a special variation, because the physiological characteristics of some of its organisms do not enable them to live in water conditions than different from those they are fit for living in; hence, zooplankton abundance showed a positive correlation with surface temperature ($r = 0.304$, $p = 0.04$). Abundance also showed a positive correlation with chlorophyll - *a* concentration ($r = 0.46$, $p = 0.00$); this result suggests that there was probably food availability for herbivorous zooplankton components in the study area. High productivity is likely to be favored by high contribution of nutrients from continental drainage in this area, thus promoting comprehensive development of the phytoplankton community and helping the zooplankton community to find suitable trophic conditions, as well as its subsequent high abundance [27].

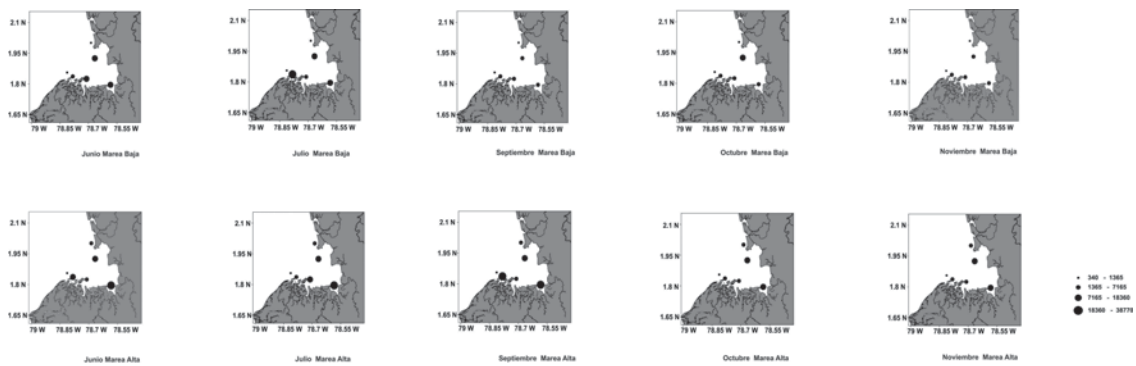


Figure 5. Spatial distribution of zooplankton abundance (Ind m⁻³) and Tumaco Bay during the tide changes and the sampling months of 2009.

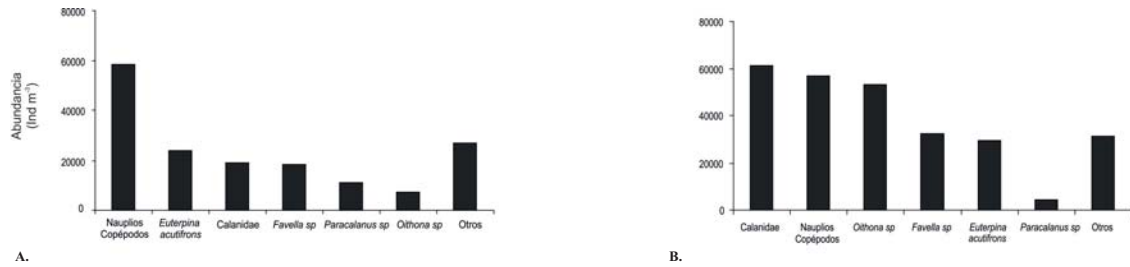


Figura 4. Fluctuaciones en la abundancia zooplanctónica de las más abundantes especies y grupos en marea baja (A) y en marea alta (B) en la bahía de Tumaco, durante los cambios de marea de 2009.

Abundancia y biomasa zooplanctónica

La abundancia zooplanctónica mostró una distribución temporal y mareal en la bahía de Tumaco (figura 5), registrando valores entre $342 - 38762 \text{ Ind m}^{-3}$. Los valores más altos de abundancia se registraron en marea alta durante todos los meses. En marea alta, el máximo valor promedio de abundancia fue de $11797 \pm 13855 \text{ Ind m}^{-3}$, mientras que el respectivo valor fue de $9.953 \pm 10.662 \text{ Ind m}^{-3}$ en marea baja, ambos valores se registraron durante el mes de julio. Los mínimos valores promedio de abundancia fueron encontrados durante el mes de noviembre ($2.746 \pm 2.034 \text{ Ind m}^{-3}$) y septiembre ($3.393 \pm 2.427 \text{ Ind m}^{-3}$) en marea baja (figura 6). No se encontró una variación significativa en la abundancia zooplanctónica entre los meses de muestreo (Kruskal - Wallis $H = 3.23$; $p = 0.52$) y con los cambios de marea (Mann - Whitney $p = 0.07$) que revele diferencias para este parámetro de evaluación de la producción secundaria, lo cual puede ser explicado por el comportamiento de las variables oceanográficas y biológicas en

el área de estudio. Uno de los factores que más influye en la distribución del plancton es la temperatura la cual cambia en las diferentes masas de agua, haciendo que el zooplancton presente una variación especial, debido a que las características fisiológicas de algunos de sus organismos no les permiten vivir en aguas con condiciones distintas a las que están adecuados, de ahí que la abundancia zooplanctónica mostró una correlación positiva con la temperatura superficial ($r = 0.304$, $p = 0.04$). La abundancia mostró también una correlación positiva con la concentración de clorofila-*a* ($r = 0.46$; $p = 0.00$), este resultado sugiere probablemente que hubo disponibilidad de alimento para los componentes herbívoros del zooplancton en la zona de estudio. Probablemente la alta productividad se encuentra favorecida por el alto aporte de nutrientes que realiza el drenaje continental en esta área, favoreciendo un amplio desarrollo de la comunidad fitoplanctónica y contribuyendo a que la comunidad zooplanctónica encuentre condiciones tróficas adecuadas, y se presente en altas abundancias [27].

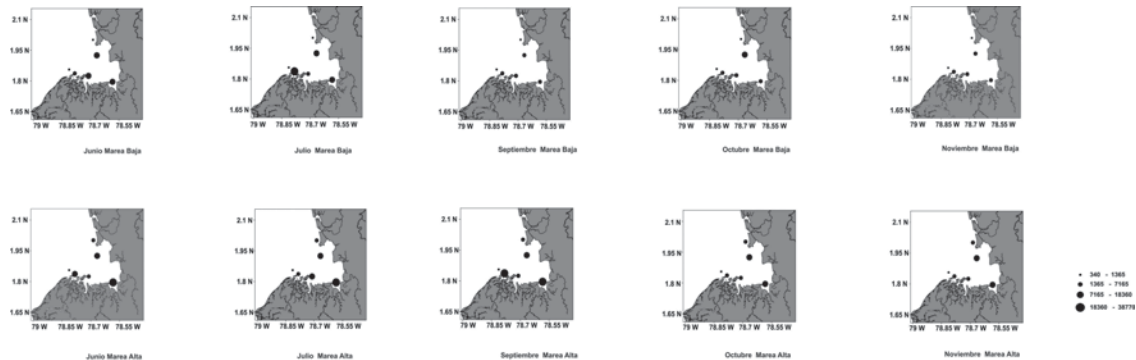


Figura 5. Distribución espacial de la abundancia zooplanctónica (Ind m^{-3}) y en la bahía de Tumaco, durante los cambios de marea y los meses de muestreo de 2009.

The Zooplankton biomass recorded values between 0.34 - 23.54 g m⁻³ (figure 7). During low tide, the maximum average biomass was 7.93 ± 8.58 g m⁻³ in June, whereas at high tide the maximum average biomass was 7.53 ± 5.44 g m⁻³ for the month of July. The minimum average biomass values were recorded in September (1.03 ± 0.66 g m⁻³) and November (1.72 ± 1.83 g m⁻³), both at low tide (figure 6). Studies show that en-

vironmental parameters play an important role in the distribution of zooplankton communities, especially fluctuations in biomass. Both physical and biological processes play an important role in the temporal and spatial scales, thereby generating a temporal and spatial multiscale which shows the variability of the zooplankton. In this sense, this study found significant differences in zooplankton biomass between the sampling

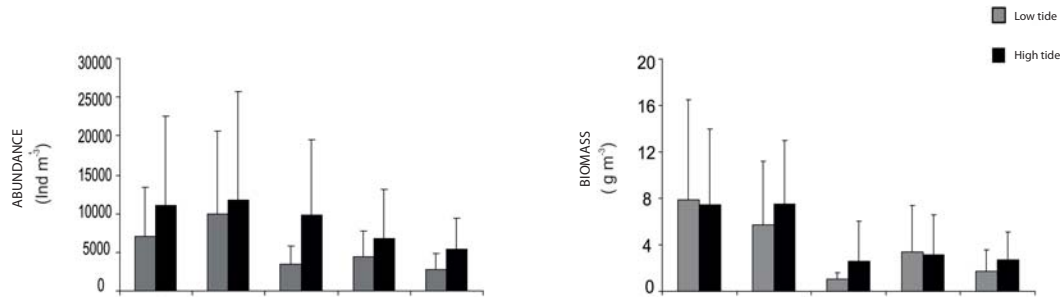


Figure 6. Average abundance (Ind m⁻³) and zooplankton biomass (g m⁻³) in the Bay of Tumaco, during tide changes and the sampling months of 2009.

months (Kruskal - Wallis H = 23.83, p = 0.00), with the months of September and November as being the main source of variance (Nemenyi & Dunn Test). The difference in biomass of some bodies of water can be explained by bathymetry. In coastal and shallow regions, biomass of zooplankton is higher due to the fact that terrige-

nous nutrients increase primary production in offshore areas. In addition, shallowness allows for uniform distribution of nutrients in the column due to turbulence [28]. By contrast, there were no significant differences in biomass values between low tide and high tide (Mann - Whitney p = 0.15).

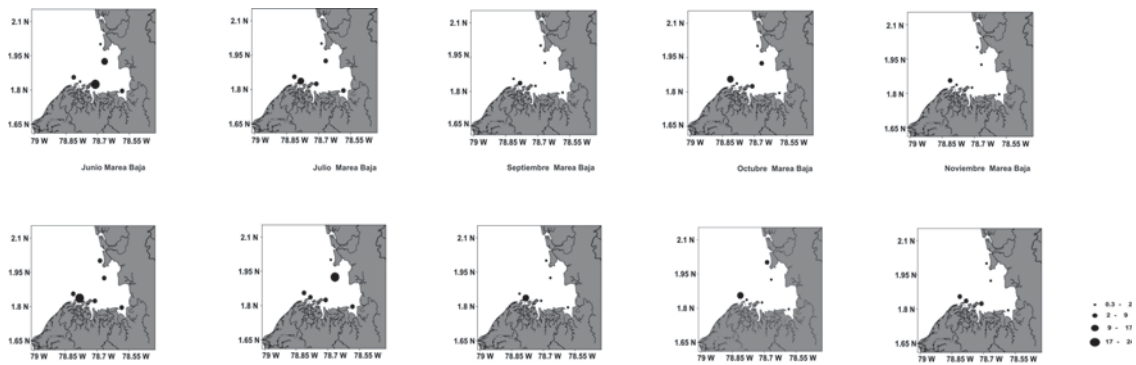


Figure 7. Spatial distribution of the zooplankton biomass (g m⁻³) and in the Bay of Tumaco, during tide exchange and the sampling months of 2009.

Biomass estimates in the Bay of Tumaco must be treated with caution for two reasons, nonetheless. First, algal fragments were present in the zooplankton samples, so that upon examination of the relationship between zooplankton biomass and abundance, there was

no significant association (rs = 0.22, p = 0.09), which suggests that this type of pollution is an error in the readings of wet weight. It is worth mentioning that one of the problems of sampling in estuarine zones is the turbulence caused by tidal exchange, which can resuspend

La biomasa zooplanctónica registró valores entre 0.34 – 23.54 g m⁻³ (figura 7). Durante marea baja, el máximo valor promedio de biomasa fue de 7.93 ± 8.58 g m⁻³ en el mes de junio, mientras que en marea alta fue de 7.53 ± 5.44 g m⁻³ para el mes de julio. Los mínimos valores promedio de biomasa fueron registrados en el mes de septiembre (1.03 ± 0.66 g m⁻³) y noviembre (1.72 ± 1.83 g m⁻³) ambos durante la marea baja (figura

6). Diversos estudios muestran que los parámetros ambientales juegan un rol importante en la distribución de las comunidades zooplanctónicas, especialmente sobre las fluctuaciones en la biomasa. Tanto los procesos físicos como biológicos toman un lugar preferencial en las escalas temporales y espaciales, generando una multiescala temporal y espacial sobre la cual se presenta la variabilidad del zooplancton. En este sentido en este

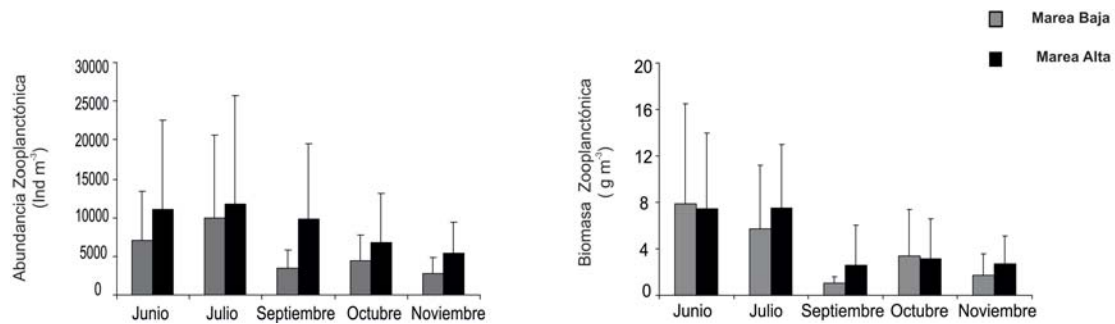


Figura 6. Abundancia (Ind m⁻³) y biomasa (g m⁻³) zooplanctónica promedio en la bahía de Tumaco, durante los cambios de marea y los meses de muestreo de 2009.

estudio se encontraron diferencias significativas de la biomasa zooplanctónica entre los meses de muestreo (Kruskal - Wallis H = 23.83; p = 0.00), siendo la principal fuente de varianza los meses de septiembre y noviembre (Test de Nemenyi & Dunn). La diferencia en la biomasa de algunos cuerpos de agua, puede ser explicada por la batimetría. En regiones costeras y de poca profundidad, la biomasa del zooplancton es ma-

yor, debido a que los nutrientes terrígenos elevan la producción primaria en áreas cercanas a la costa. Además, la poca profundidad permite una distribución uniforme de los nutrientes en la columna por efecto de la turbulencia [28]. Por el contrario no se encontraron diferencias significativas en los valores de biomasa entre marea baja y marea alta (Mann - Whitney p = 0.15).

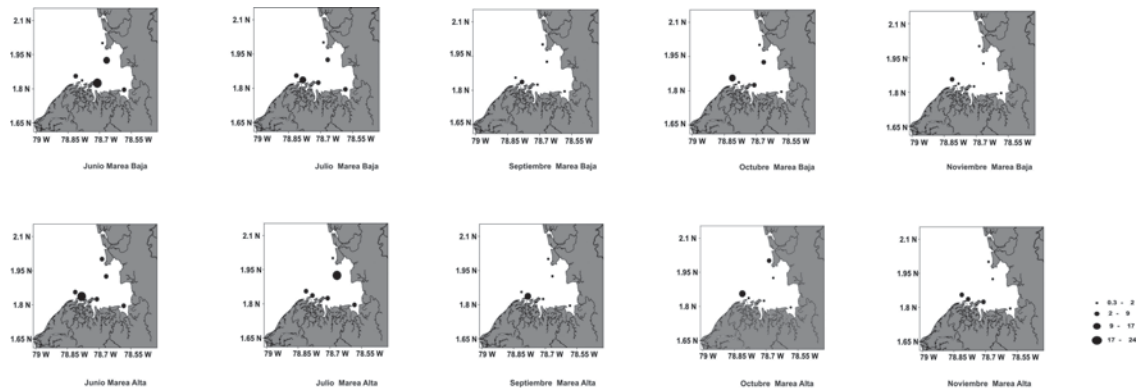


Figura 7. Distribución espacial de la biomasa zooplanctónica (g m⁻³) y en la Bahía de Tumaco, durante los cambios de marea y los meses de muestreo de 2009.

Las estimaciones de biomasa en la bahía de Tumaco, sin embargo deben ser tratadas con cautela por dos razones. En primer lugar, fragmentos algales estuvieron

presentes en las muestras zooplanctónicas, por lo que al examinar la relación entre la biomasa y abundancia zooplanctónica no se observó ninguna asociación sig-

sediments and cause contamination of the samples of zooplankton with organic matter, algal fragments and chains of diatoms which overestimate zooplankton biomass [29]. On the other hand, the zooplankton biomass was directly associated to surface salinity ($r = 0.37$, $p = 0.00$). Salinity has important implications for marine organisms due to the associated physical parameters including osmolarity, the relative proportion of solutes, absorption and saturation of dissolved gases, density, viscosity, surface tension, absorption of radiation and sound transmission [30].

An important aspect in this study, and one which may help to elucidate temporal and tidal variations in the Bay of Tumaco, is the differences between the values of zooplankton abundance and biomass obtained with an atypical mesh for sampling zooplankton (100 microns). The sampling of small species of zooplankton (micro-zooplankton) can lead to a limited view of the ecology of planktonic systems and should be considered when comparing results. Our estimates of small copepods and tintinnids using a 100 - micron mesh are much higher than, probably, those obtained with a > 200 - micron mesh. The bias generated in the collection of these groups with smaller mesh pore size, masks some seasonal patterns. Therefore, the use of small - pore meshes may partly explain the differences observed between this study and the seasonal pattern of zooplankton abundance. For well represented large groups with a > 200 - micron mesh, the differences are probably due to the particular characteristics of the study sites. However, using this technique with a small mesh implies the risk of inaccurate sampling of strong swimmers and rare organisms. It is important to quantify the flow of the tides and other size classes of zooplankton organisms in forthcoming studies, incorporating them in the models of marine ecosystems and other semi - closed bodies of water.

BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

- [1] Calbet A, Garrido S, Saiz E, Alcaraz M, Duarte CM. Annual zooplankton succession in coastal NW Mediterranean Waters: the importance of the smaller size fractions. *Journal de Plankton Research*. 2001; 23: 319 - 331.
- [2] Walsh JJ. On the nature of continental shelves. New York: Academic Press; 1988.
- [3] Mann KH, Lazier JRN. Dynamics of marine ecosystems: biological - physical interactions in the oceans. 2nd ed. United States: Blackwell Sciences; 1996.
- [4] Day JW, Hall CA, Kemp WM, Yañez - Arancibia A. Estuarine ecology. United States: John Wiley and Sons; 1989.
- [5] Mann KH. Ecology of coastal waters: with implication for management. 2nd ed. United States: Blackwell Sciences; 2000.
- [6] Gasca R, Suarez - Morales E, Segura L. Marine zooplankton (*El zooplancton Marino*). Mexico: Gasca and E. Suárez - Morales (Ecosur), 1996.
- [7] Tejada C. Maritime climate of the Bay of Tumaco, a case for applying the model for integrated coastal zones in Colombia [MA thesis] (*Clima marítimo de la Bahía de Tumaco, un caso de aplicación del sistema de modelo integral de zonas costeras para Colombia*). Cantabria, Spain, Universidad de Cantabria, Group of Coastal and Ocean Engineering, 2002.
- [8] Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies (IDEAM - from its original Spanish language initials *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*) - National University. Population morphodynamics and natural hazards in the Colombian Pacific coast (*Morfodinámica poblacional y amenazas naturales en la costa pacífica colombiana*). Bogotá: Ministry of Environment, 1997.
- [9] Pollution Control Center of the Pacific (from its original Spanish language initials *Centro Control Contaminación del Pacífico CCCP*). Water quality model for the Bay of Tumaco and pollution monitoring in the Colombian Pacific stage IV (*Modelo de calidad de aguas para la bahía de Tumaco y monitoreo de la contaminación marina en el Pacífico Colombiano fase IV*). Final Report. Tumaco, Nariño, 2001a.
- [10] McEven GF, Johnson MW, Folsom TR. A statistical analysis of the performance of the Folsom plankton splitter based upon test observations. *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie Ser A: Meteorologie und Geophysik*. 1954; 1(17):167-175.
- [11] Beers JR. Determination of zooplankton biomass (*Determinación de la biomasa del zooplancton*). In: Boltovskoy D (ed). Atlas of Zooplankton of the South - West Atlantic and Working Methods with Marine Zooplankton. Mar de Plata, Argentina: INIDEP Special Publication, 1981. p.133-140.
- [12] Postel L, Fock H, Hagen W. Biomass and abundance. In: Harris RP, Wiebe PH, Lenz J, Skjoldal HR, Huntley M (eds). Ices Zooplankton Methodology Manual. San Diego, California: Academic Press; 2000. p. 83-174.
- [13] Boltovskoy D. Atlas del Zooplancton del Atlántico Sudoccidental y Métodos de Trabajo con el Zooplancton Marino. Mar de Plata, Argentina: Publicación especial del INIDEP; 1981.

nificativa ($r_s = 0.22$; $p = 0.09$), sugiriendo que este tipo de contaminación representa un error en las lecturas de peso húmedo. Es importante destacar que uno de los problemas de los muestreos en zonas estuarinas es la turbulencia causada por recambio mareal, que pueden resuspender sedimentos causando la contaminación de las muestras de zooplancton con materia orgánica, fragmentos algales y cadenas de diatomeas que sobrestiman la biomasa zooplanctónica [29]. De otro lado, la biomasa zooplanctónica se asoció directamente con la salinidad superficial ($r = 0.37$, $p = 0.00$). La salinidad tiene importantes implicaciones para los organismos marinos debido a los parámetros físicos asociados que incluyen osmolaridad, proporción relativa de solutos, absorción y saturación de gases disueltos, densidad, viscosidad, tensión superficial, absorción de radiación, y transmisión del sonido [30].

Un aspecto relevante encontrado en este estudio y que puede ayudar a elucidar las variaciones mareales y temporales en la bahía de Tumaco, son las diferencias encontradas entre los valores de abundancia y biomasa zooplanctónica obtenidas con una red atípica para los muestreos de zooplancton ($100 \mu\text{m}$). El muestreo de pequeñas especies de zooplancton (microzooplancton) puede llevar a una visión limitada de la ecología de los sistemas planctónicos y debe ser considerado al comparar resultados. Nuestras estimaciones de copépodos pequeños y tintínidos utilizando una red de $100 \mu\text{m}$, es mucho más alta, que probablemente las obtenidas con una red $> 200 \mu\text{m}$. El sesgo generado en la recogida de estos grupos con mallas de menor tamaño de poro, enmascara algunos patrones estacionales. Por lo tanto, el uso de mallas de poro pequeño, pueden explicar en parte las diferencias mostradas entre el presente estudio y el patrón estacional de la abundancia de zooplancton. Para grandes grupos bien representados en mallas $> 200 \mu\text{m}$, las diferencias son probablemente debido a las características particulares de los sitios de estudios. Sin embargo, utilizando esta técnica con una red de malla pequeña implica el riesgo de muestreo inexacto de los nadadores fuertes y organismos raros. Es importante para futuros estudios, cuantificar el flujo de las mareas y otras clases de tamaño de los organismos zooplanctónicos, incorporando estos en los modelos de los ecosistemas marinos y otros cuerpos de agua semicerrados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Calbet A, Garrido S, Saiz E, Alcaraz M, Duarte CM. Annual zooplankton sucesión in coastal NW Mediterranean Waters: the importance of the smaller size fractions. *Journal of Plankton Research*. 2001; 23: 319 - 331.
- [2] Walsh JJ. On the nature of continental shelves. New York: Academic Press; 1988.
- [3] Mann KH, Lazier JRN. Dynamics of marine ecosystems: biological-physical interactions in the oceans. 2nd ed. Estados Unidos: Blackwell Sciences; 1996.
- [4] Day JW, Hall CA, Kemp WM, Yañez - Arancibia A. Estuarine ecology. Estados Unidos: John Wiley and Sons; 1989.
- [5] Mann KH. Ecology of coastal waters: with implication for management. 2nd ed. Estados Unidos: Blackwell Sciences; 2000.
- [6] Gasca R, Suárez - Morales E, Segura L. El zooplancton marino. México: Gasca y E. Suárez - Morales (Ecosur); 1996.
- [7] Tejada C. Clima marítimo de la Bahía de Tumaco, un caso de aplicación del sistema de modelo integral de zonas costeras para Colombia [tesis de maestría]. Cantabria, España; Universidad de Cantabria, Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas; 2002.
- [8] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) - Universidad Nacional. Morfodinámica poblacional y amenazas naturales en la costa pacífica colombiana. Bogotá: Ministerio del Medio Ambiente; 1997.
- [9] Centro Control Contaminación del Pacífico (CCCP). Modelo de calidad de aguas para la bahía de Tumaco y monitoreo de la contaminación marina en el Pacífico Colombiano fase IV. Informe Final. Tumaco, Nariño; 2001a.
- [10] McEven GF, Johnson MW, Folsom TR. A statistical analysis of the performance of the Folsom plankton splitter based upon test observations. *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie Ser A: Meteorologie und Geophysik*. 1954; 1(17):167-175.
- [11] Beers JR. Determinación de la biomasa del zooplancton. En: Boltovskoy D (ed). Atlas del Zooplancton del Atlántico Sudoccidental y Métodos de Trabajo con el Zooplancton Marino. Mar de Plata, Argentina: Publicación especial INIDEP; 1981. p.133-140.
- [12] Postel L, Fock H, Hagen W. Biomass and abundance. In: Harris RP, Wiebe PH, Lenz J, Skjoldal HR, Huntley M (eds). *Ices Zooplankton Methodology Manual*. San Diego, California: Academic Press; 2000. p. 83-174.
- [13] Boltovskoy D. Atlas del Zooplancton del Atlántico Sudoccidental y Métodos de Trabajo con el Zooplancton Marino. Mar de Plata, Argentina: Publicación especial del INIDEP; 1981.
- [14] Dawson JK, Knatz G. Illustrated key to the planktonic copepods of San Pedro Bay, California. Los Angeles: Allan Hancock Foundation; 1980. Tech. Rep, 2: 1-106.
- [15] Newell GE, Newell RC. Marine plankton. A practical guide.

- [14] Dawson JK, Knatz G. Illustrated key to the planktonic copepods of San Pedro Bay, California. Los Angeles: Allan Hancock Foundation; 1980. Tech. Rep, 2: 1-106.
- [15] Newell GE, Newell RC. Marine plankton. A practical guide. London: Hutchinson Educational; 1963.
- [16] ZAR J. Biostatistical Analysis. New York: Prentice Hall; 1994.
- [17] Garay Tinoco JA, Gómez López DI, Ortiz Galvis JR. *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. Santa Marta: 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 – Corporación Autónoma Regional de Nariño CORPONARIÑO; 2006.* (Integral Diagnosis of the biophysics and socioeconomic impact related to the land contamination sources in the Bahía de Tumaco, Colombia and basic guidelines for a management plan. Santa Marta: Project of the Program of the United Nations for the Environment (UNEP) and the Permanent Commission of the South Pacific CPPS. Institute of Marine and Coast Research INVEMAR – Center of Contamination Control of the Pacific CCCP (per its acronym in Spanish) *Corporación Autónoma Regional de Nariño CORPONARIÑO; 2006.*
- [18] Chong BJ, Chua TD. A preliminary study of the distribution of the cyclopoid copepods of the family Oithonidae in Malaysian waters. Pacific Science Association Special Symposium on Marine Science. Hong Kong: In Anon, ed; 1973. P. 32 – 36.
- [19] Pierce RW, Turner JT. Global biogeography of marine tintinnids. *Mar Ecol. Prog. Ser.* 1993; 94 (1): 11 - 26.
- [20] Dolan JR, Gallegos C. Estuarine diversity of tintinnids (planktonic ciliates). *J. Plankton Res.* 2001; 23 (9): 1009 – 1027.
- [21] Urrutxurtu I. Seasonal succession of tintinnids in the Nervión river estuary, Basque Country, Spain. *J. Plankton Res.* 2004; 26 (3): 307 – 314.
- [22] Eskinazi – Sant’Anna EM, Björnberg. Seasonal dynamics of microzooplankton in the São Sebastião Channel (SP, Brazil). *Braz. J. Biol.* 2006; 66 (1b): 221 – 231.
- [23] Capriulo GM, Smith G, Troy R, Wikfors GH, Pellet J, Yarish C. The planktonic food web structure of a temperature zone estuary, and its alteration due to eutrophication. *Hydrobiol.* 2002; 475 -476 (1): 263 - 333.
- [24] Marshall SM. Protozoa, order Tintinnida. In: Fraser JH, Hansen VK (Eds). *Fiches d’identification du Zooplankton.* Copenhagen, Denmark: Conseil International pour l’Exploration de la Mer; 1969. p. 117 – 127.
- [25] Damodara-Naidu W. Studies on tintinnids (Protozoa: Ciliata) of Porto Novo region, South India [doctoral thesis. India: Annamalai University; 1980.
- [26] Jegadeesan P. Studies on environmental inventory of the marine zone of Coleroon estuary and inshore waters of Pazhayaru, southeast coast of India [doctoral thesis]. India: Annamalai University; 1986.
- [27] Monroy JH. Zooplanktonic Groups of the Colombian Pacific related with oceanographic variables. *Crucero PP IV Área* [thesis]. Santa Fé de Bogotá: School of Marine Biology, Universidad Jorge Tadeo Lozano; 1976.
- [28] Zoppi E. Distribución vertical del zooplankton en el Golfo y extreme este de la Fosa Cariaco. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente.* 1961; 1 (1): 219 – 248.
- [29] Nagao N, Toda T, Takahashi K, Hamasaki K. High ash content in net-plankton samples from shallow coastal water: possible source of error in dry weight measurement of zooplankton biomass. *J. Oceanogr.* 2001; 57 (1): 105 – 107.
- [30] Lougee LA, Bollens SM, Avent SR. The effects of haloclines on the vertical distribution and migration of zooplankton. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 2002; 278: 111 – 134.

- London: Hutchinson Educational; 1963.
- [16] ZAR J. Biostatistical Analysis. New York: Prentice Hall; 1994.
- [17] Garay Tinoco JA, Gómez López DI, Ortiz Galvis JR. 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. Santa Marta: 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 – Corporación Autónoma Regional de Nariño CORPONARIÑO; 2006. (Integral Diagnosis of the biophysics and socioeconomic impact related to the land contamination sources in the Bahía de Tumaco, Colombia and basic guidelines for a management plan. Santa Marta: Project of the Program of the United Nations for the Environment (UNEP) and the Permanent Commission of the South Pacific CPPS. Institute of Marine and Coast Research INVEMAR – Center of Contamination Control of the Pacific CCCP (per its acronym in Spanish) *Corporación Autónoma Regional de Nariño CORPONARIÑO*; 2006.
- [18] Chong BJ, Chua TD. A preliminary study of the distribution of the cyclopoid copepods of the family Oithonidae in Malaysian waters. Pacific Science Association Special Symposium on Marine Science. Hong Kong: In Anon, ed; 1973. P. 32 – 36.
- [19] Pierce RW, Turner JT. Global biogeography of marine tintinnids. *Mar Ecol. Prog. Ser.* 1993; 94 (1): 11 - 26.
- [20] Dolan JR, Gallegos C. Estuarine diversity of tintinnids (planktonic ciliates). *J. Plankton Res.* 2001; 23 (9): 1009 – 1027.
- [21] Urrutxurtu I. Seasonal succession of tintinnids in the Nervión river estuary, Basque Country, Spain. *J. Plankton Res.* 2004; 26 (3): 307 – 314.
- [22] Eskinazi – Sant’Anna EM, Björnberg. Seasonal dynamics of microzooplankton in the São Sebastião Channel (SP, Brazil). *Braz. J. Biol.* 2006; 66 (1b): 221 – 231.
- [23] Capriulo GM, Smith G, Troy R, Wikfors GH, Pellet J, Yarish C. The planktonic food web structure of a temperature zone estuary, and its alteration due to eutrophication. *Hydrobiol.* 2002; 475 -476 (1): 263 - 333.
- [24] Marshall SM. Protozoa, order Tintinnida. In: Fraser JH, Hansen VK (Eds). *Fiches d’identification du Zooplankton*. Copenhagen, Denmark: Conseil International pour l’Exploration de la Mer; 1969. p. 117 – 127.
- [25] Damodara-Naidu W. Studies on tintinnids (Protozoa: Ciliata) of Porto Novo región, South India [thesis doctoral]. India: Annamalai University; 1980.
- [26] Jegadeesan P. Studies on environmental inventory of the marine zone of Coleroon estuary and inshore waters of Pazhayaru, southeast coast of India [thesis doctoral]. India: Annamalai University; 1986.
- [27] Monroy JH. Grupos zooplanctónicos del Pacífico Colombiano relacionados con las variables oceanográficas. *Cruceiro PP IV Área I* [tesis]. Santa Fé de Bogotá: Facultad de Biología Marina, Universidad Jorge Tadeo Lozano; 1976.
- [28] Zoppi E. Distribución vertical del zooplancton en el Golfo y extreme este de la Fosa Cariaco. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente.* 1961; 1 (1): 219 – 248.
- [29] Nagao N, Toda T, Takahashi K, Hamasaki K. High ash content in net-plankton samples from shallow coastal water: possible source of error in dry weight measurement of zooplankton biomass. *J. Oceanogr.* 2001; 57 (1): 105 – 107.
- [30] Lougee LA, Bollens SM, Avent SR. The effects of haloclines on the vertical distribution and migration of zooplankton. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 2002; 278: 111 – 134.