

ESTIMACIONES DE BIOVOLUMEN Y CARBONO ORGÁNICO DEL FITOPLANCTON FRENTE A CHIMBOTE (9°S) Y EN LA BAHÍA DE PUCUSANA (12°S)

ESTIMATING PHYTOPLANKTON BIOVOLUME AND ITS ORGANIC CARBON CONTENT OFF CHIMBOTE (9°S) AND PUCUSANA BAY (12°S)

Elcira Delgado Nelly Jacobo Georgina Flores

RESUMEN

DELGADO E, JACOBO N, FLORES G. 2021. Estimaciones de biovolumen y carbono orgánico del fitoplancton frente a Chimbote (9°S) y en la bahía de Pucusana (12°S). *Inf Inst Mar Perú*. 48(3): 350-360.- Una de las formas indirectas de medir la productividad primaria está basada en el cálculo del aporte de carbono mediante la asignación de formas geométricas de las diferentes especies del fitoplancton, recomendándose un conjunto estándar de formas geométricas para las diferentes especies de la comunidad fitoplanctónica. Se recolectaron muestras de agua en la sección Chimbote (9°S) y en la bahía de Pucusana (12°S), en el verano 2003 y 2008, respectivamente. El análisis se hizo utilizando el método cuantitativo de Utermöhl. El objetivo fue determinar la concentración de carbono orgánico de las diferentes especies fitoplanctónicas. Los resultados mostraron que en la sección Chimbote, los *Chaetoceros* presentaron las mayores concentraciones de carbono orgánico (107 µg C/L) dentro de las 10 mn, sin embargo, este valor fue menor al reportado para la bahía de Pucusana (401 µg C/L) ya que su concentración fue proporcionada por especies grandes (dinoflagelado tecado *Gonyaulax polygramma* Stein, 1883) con elevadas concentraciones celulares (floraciones algales).

PALABRAS CLAVE: biovolumen celular, formas geométricas, carbono orgánico, fitoplancton

ABSTRACT

DELGADO E, JACOBO N, FLORES G. 2021. Estimating phytoplankton biovolume and its organic carbon content off Chimbote (9°S) and Pucusana Bay (12°S). *Inf Inst Mar Peru*. 48(3): 350-360.- Carbon contribution can be used as an indirect way for measuring primary productivity. To do so, we suggest a set of geometrical models to be assigned to the different phytoplankton species. In summer 2003 and 2008, we collected water samples from Chimbote (9°S) and Pucusana Bay (12°S), respectively. The Utermöhl method was used in later analysis. We aimed to determine the organic carbon concentration in the different species. In Chimbote, *Chaetoceros* showed higher organic carbon concentration (107 µg C/L) within 10 nm. Nevertheless, in Pucusana Bay, the value was lower (401 µg C/L) since its concentration was provided by large species such as the thecate dinoflagellate *Gonyaulax polygramma* Stein, 1883, with high cell concentrations (algal blooms).

KEYWORDS: cell biovolume, geometric models, organic carbon, phytoplankton, primary production

1. INTRODUCCIÓN

La mayor parte de la materia orgánica presente en el océano es sintetizada en la zona fótica por la actividad fotosintética de algas microscópicas (fitoplancton). La fotosíntesis marina es uno de los procesos biogeoquímicos más importantes, a través del cual se produce la transformación de moléculas inorgánicas en orgánicas abasteciendo de combustible a las redes tróficas marinas.

Una de las formas del cálculo de la producción primaria está basada en la obtención del biovolumen celular de los componentes que conforman el fitoplancton y, dependiendo de su forma, se utilizan algunas fórmulas de las figuras geométricas para obtener el valor del aporte de carbono celular. HILLEBRAND *et al.* (1999) recomendaron un conjunto estándar de 20 formas geométricas para más de 850 géneros

de fitoplancton y proporcionaron ecuaciones matemáticas que se utilizan para estimaciones precisas del volumen y la superficie celular.

Posteriormente SUN & LIU (2003) basados en el trabajo de HILLEBRAND *et al.* (1999), aplicaron y propusieron una mejora a los modelos geométricos planteando 31 formas geométricas, adicionando 11 formas nuevas, trabajo que estuvo centrado sobre las especies del fitoplancton del mar de China.

Por otro lado, la distribución del fitoplancton, abundancia y variación de sus especies obedecen a complejos cambios estacionales y la interacción de distintos factores medioambientales (ZUTA y GUILLÉN, 1970). Diatomeas y Dinoflagelados son dos grupos que juegan un rol importante dentro de esta comunidad, las diatomeas poseen importancia numérica gracias a su alta capacidad

reproductiva; en tanto que los dinoflagelados frente a condiciones ecológicas favorables en zonas costeras, desarrollan grandes densidades formándose floraciones algales nocivas (FAN) o "blooms".

La finalidad de este trabajo fue determinar las concentraciones de carbono orgánico de las diferentes especies fitoplanctónicas frente a Chimbote y Pucusana, a partir de los biovolumenes obtenidos para cada especie de diatomeas y dinoflagelados, a fin de caracterizar las concentraciones de carbono orgánico en dos zonas ecológicamente diferentes.

2. MATERIAL Y METODOS

Área de estudio

Se localizó frente a Chimbote, en una sección (9°S), desde la zona costera hasta aproximadamente 100 mn (Fig. 1) y en la bahía de Pucusana (12°S) hasta 10 mn de la línea de costa (Fig. 2).

Durante los muestreos se realizaron mediciones de temperatura superficial del mar, determinación de oxígeno disuelto por el método Winkler modificado por CARRIT & CARPENTER (1966) y pH para lo cual se utilizó un potenciómetro marca Fisher Scientific. La salinidad se analizó por el

método de inducción con el Portasal 8410A Guildline y el salinómetro Kahlsico RS 10.

La determinación de fosfatos, silicatos, nitratos y nitritos se realizó de acuerdo a las técnicas y modificaciones por STRICKLAND & PARSONS (1968) utilizando el espectrofotómetro Lambda 40 marca Perkin Elmer.

Las muestras recolectadas para la determinación de clorofila-a (Cl-a) se filtraron a través de filtros Whatman GF/F de 2,5 cm de diámetro, se utilizó el método fluorométrico YENTSCH & MENZEL (1963) modificado por HOLM-HANSEN *et al.* (1965).

Se recolectaron 24 muestras de agua obtenidas con botellas Niskin (18 en Chimbote y 6 en Pucusana). El material biológico empleado para mediciones de diatomeas, fue recolectado durante el verano 2003 en el Crucero de Evaluación de Recursos Pelágicos 0302-03 frente al perfil Chimbote y a 3 niveles de profundidad (0, 10 y 50 m). Para mediciones de dinoflagelados se obtuvieron 6 muestras en la bahía de Pucusana a nivel de superficie producto de una floración algal (marea roja) ocurrida en febrero 2008 (Proyecto de la Unidad de Investigaciones en Oceanografía Química (UIOQ)). Las muestras fueron fijadas con formalina al 20%, siguiendo las recomendaciones de THRÖNSEN (1978).

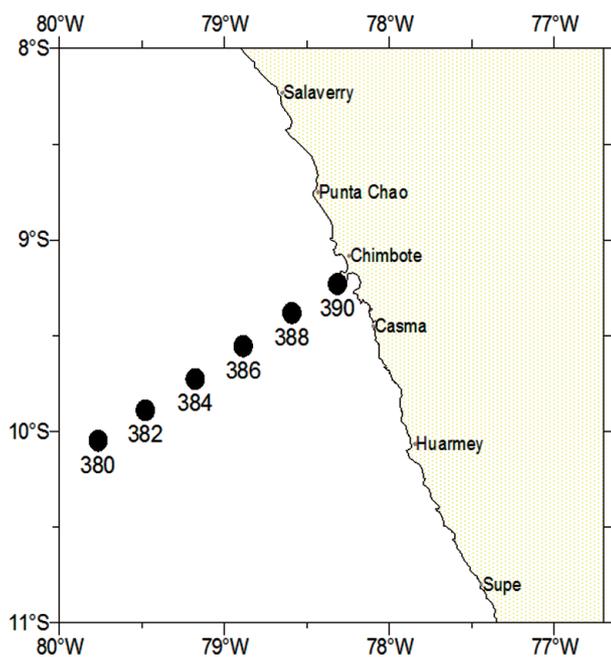


Figura 1.- Carta de posiciones frente a la sección Chimbote - verano 2003

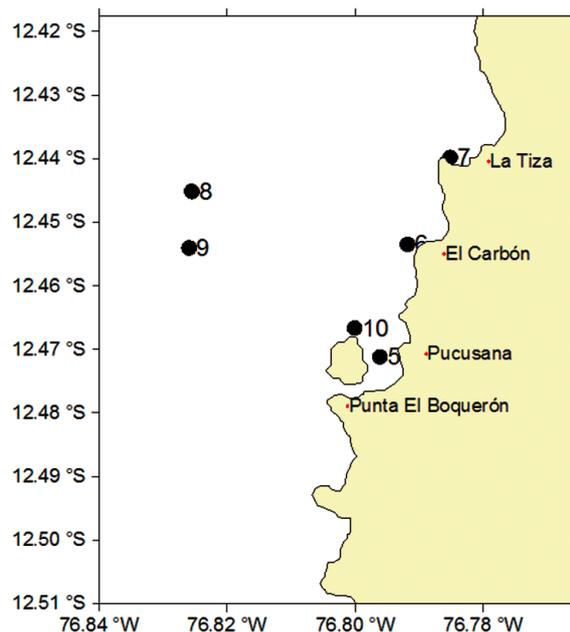
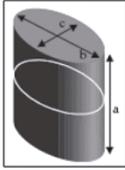
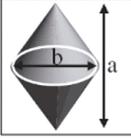
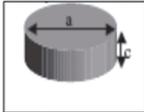
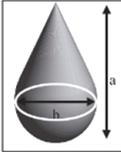
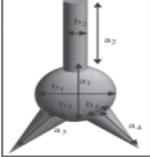
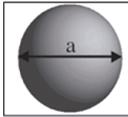


Figura 2.- Carta de posiciones frente a la bahía de Pucusana- verano 2008

Tabla 1.- Formas geométricas y fórmulas asignadas para especies del fitoplancton según Sun & Liu (2003)

<p><i>Chaetoceros</i> spp: Cilindro oval (Elipsoidal o prisma de base elíptica) $V = (\pi/4) (a) (b) (c)$</p>		<p><i>Gonyaulax</i> y <i>Protoperdinium</i>: Doble cono $V = (\pi/12) (a) (b^2)$</p>	
<p><i>Coscinodiscus</i> spp: Cilindro $V = (\pi/4) (a^2) (c)$</p>		<p><i>Prorocentrum</i> y <i>Scrippsiella</i>: Cono + media esfera $V = (\pi/4) (a) (b^2)$</p>	
<p><i>Ceratium</i> spp.: Elipsoide + 2 conos + cilindro $V: (\pi/4) (a_2) (b_2^2) + (\pi/12) (a_3+a_4) (b_2^2) + (\pi/6)(a_1)(b_1)(b_2)$</p>		<p><i>Protoperdinium</i> sp.: Esfera $V = (\pi/6) (a^3)$</p>	

El análisis cuantitativo del fitoplancton y medición de especies se realizó a través de un microscopio invertido (Nikon, Modelo Axiovert TE-300) que tiene acoplada una reglilla micrométrica. Las medidas fueron realizadas a 40X y 20X. Se utilizaron cámaras de sedimentación de 50 mL y el recuento celular se realizó siguiendo la técnica de UTERMÖHL (1958).

El cálculo del biovolumen celular se realizó utilizando fórmulas geométricas relacionadas con la forma de la célula (Tabla 1) y con el soporte del programa *Visual Basic for Application* (SUN & LIU, 2003). Se efectuó un mínimo de 20 medidas para cada especie, a partir de las cuales se obtuvo el valor del biovolumen celular expresado en μm^3 .

Para la estimación del cálculo de carbono celular para diatomeas y dinoflagelados se utilizaron las siguientes fórmulas (PARSONS & TAKAHASHI, 1973):

GRUPO	FORMULA
DIATOMEAS	$\text{Log } C = 0,758 \text{ Log } V - 0,422$
DINOFLAGELADOS	$\text{Log } C = 0,866 \text{ Log } V - 0,460$

Los valores de aportes de carbono orgánico fueron obtenidos en picogramos de carbono por cada especie (pgC.cél^{-1} ; EDLER, 1979) y el valor promedio fue multiplicado por sus abundancias totales y transformados a microgramos de carbono por litro ($\mu\text{gC.L}^{-1}$).

3. RESULTADOS

SECCIÓN CHIMBOTE

Parámetros físico-químicos

La temperatura superficial del mar presentó valores entre 17,7 y 24,1 °C, asociada a salinidad que varió entre 35,07 y 35,39 ups; el oxígeno disuelto obtuvo valores entre 4,07 y 5,11 mL.L⁻¹. La mayor concentración de Cl-a registró un valor de 10,6 $\mu\text{g.L}^{-1}$ en la zona costera y la menor, 0,41 $\mu\text{g.L}^{-1}$ en la zona oceánica.

Los fosfatos presentaron concentraciones con valores entre 0,86 y 1,32 μM ; los silicatos alcanzaron concentraciones que fluctuaron entre 3,00 y 7,17 μM . Los nitratos fluctuaron entre 5,25 y 10,65 μM y los nitritos registraron concentraciones que variaron entre 0,29 y 0,69 μM (Tabla 2).

La figura 3 detalla la variabilidad de las concentraciones de carbono orgánico (diatomeas), Cl-a, oxígeno y silicatos en superficie con relación a la distancia de costa. Al respecto, se observó que las concentraciones del carbono y el oxígeno disuelto fueron incrementándose paulatinamente con la mayor distancia de la costa, llegando a las 100 mn con valores máximos de 2,0 $\mu\text{gC.L}^{-1}$ y 5,1 mL.L⁻¹, respectivamente. En la zona costera las concentraciones de clorofila-a y silicatos obtuvieron sus máximos de 10,6 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (10 mn) y 8,90 μM (20 mn), respectivamente, para luego disminuir con la distancia a la costa.

Tabla 2.- Registro de los parámetros físicos y químicos en superficie de las diferentes estaciones en la sección Chimbote, verano 2003

Estación de muestreo	390	388	386	384	382	380	Promedio	Desv. Estándar
Temperatura (°C)	17,73	18,33	20,55	21,85	23,53	24,06	21,01	± 2,4
Salinidad (ups)	35,073	35,117	35,156	35,202	35,304	35,294	35,191	± 0,09
Oxígeno (mL/L)	4,07	4,07	4,92	5,11	4,87	4,97	4,676	± 0,43
Clorofila-a (µg/L)	10,6	3,02	1,38	0,82	0,41	0,49	2,79	± 3,6
Fosfatos (µM)	0,86	1,82	1,11	1,39	1,00	1,15	1,22	± 0,31
Silicatos (µM)	7,17	8,90	6,63	5,81	3,81	3,00	5,89	± 1,99
Nitratos (µM)	6,16	5,62	10,65	8,90	6,43	5,25	7,17	± 1,95
Nitritos (µM)	0,29	0,38	0,46	0,56	0,69	0,50	0,48	± 0,13

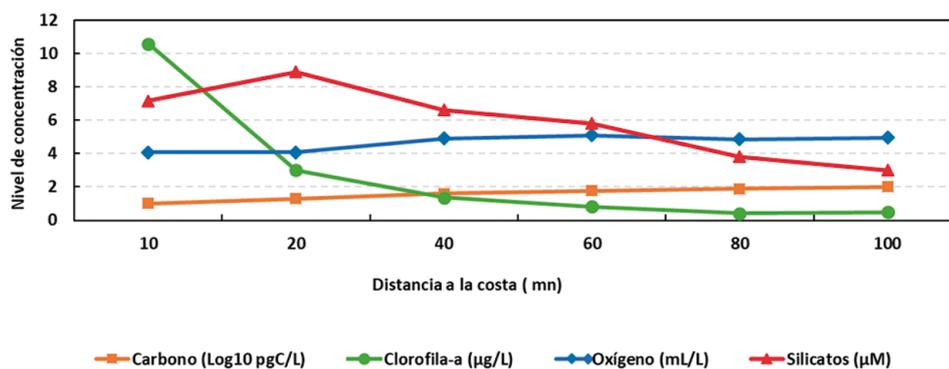


Figura 3.- Variabilidad de las concentraciones de carbono orgánico, clorofila-a, oxígeno y silicatos en superficie con relación a la distancia de la costa en la sección Chimbote, verano 2003

Tabla 3.- Variación del biovolumen celular (μm^3) y carbono orgánico ($\text{pgC}\cdot\text{cél}^{-1}$) de diatomeas en el perfil Chimbote, verano 2003

Diatomeas	Biovolumen (μm^3)	Carbono Celular ($\text{pgC}/\text{cél}$)
<i>Chaetoceros affinis</i> Lauder 1964	1475	95
<i>Chaetoceros compressus</i> Lauder 1864	895	65
<i>Chaetoceros constrictus</i> Gran 1897	2725	152
<i>Chaetoceros curvisetus</i> Cleve 1889	3552	186
<i>Chaetoceros debilis</i> Cleve 1894	1533	98
<i>Chaetoceros lauderi</i> Ralfs 1864	4363	217
<i>Chaetoceros lorenzianus</i> Grunow 1963	11361	449
<i>Chaetoceros peruvianus</i> Brightwell 1856	1769	110
<i>Chaetoceros socialis</i> H. S. Lauder 1864	144	16
<i>Chaetoceros</i> sp. Ehrenberg 1845	1615	102
<i>Coscinodiscus perforatus</i> Ehrenberg 1844	835281	13449

Biovolumen celular y carbono orgánico

Se obtuvo el biovolumen celular (μm^3) y su aporte de carbono orgánico ($\text{pgC}\cdot\text{cél}^{-1}$) de 11 especies del fitoplancton correspondiente al grupo de diatomeas centrales entre ellas a *Coscinodiscus perforatus* Ehrenberg, 1845 y 10 especies del género *Chaetoceros*, especies que sobresalieron por su frecuencia y dominancia (Tabla 3, Fig. 4).

El biovolumen celular y el carbono orgánico para el género *Chaetoceros* registraron valores que variaron entre 2,159 – 4,055 μm^3 y 1,204 – 2,652 $\text{pgC}\cdot\text{cél}^{-1}$ representadas por *Chaetoceros socialis* H.S. Lauder, 1864 y *Ch. lorenzianus* Grunow, 1863, respectivamente. Por su parte, *Coscinodiscus perforatus* fue la especie que presentó el biovolumen más alto de 5,922 μm^3 y valor de carbono celular de 4,129 $\text{pgC}\cdot\text{cél}^{-1}$ (Fig. 4).

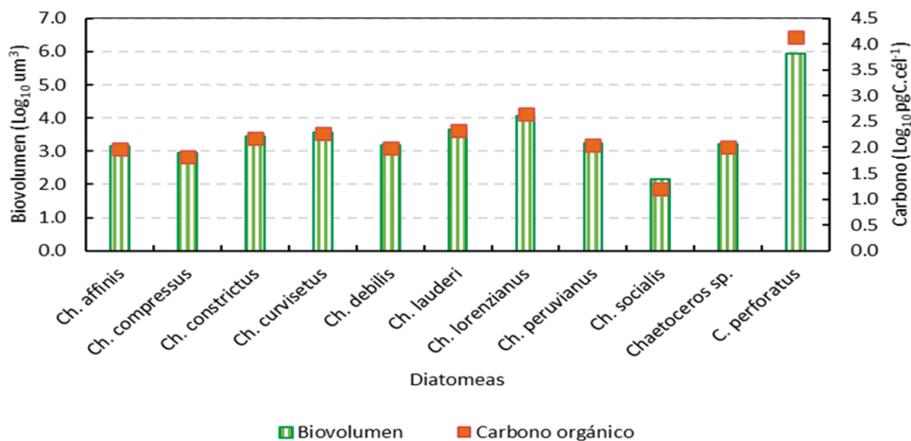


Figura 4.- Variación del biovolumen celular (μm³) y carbono orgánico (pgC.cél⁻¹) de diatomeas frente a Chimbote, verano 2003

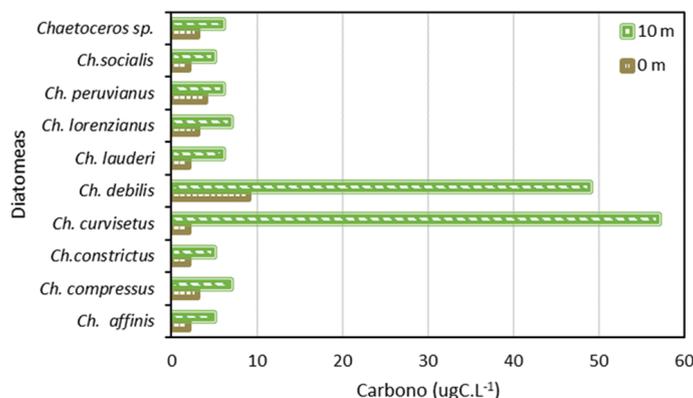


Figura 5.- Concentraciones de carbono celular total (μgC.L⁻¹) de *Chaetoceros* spp. (0 y 10 m) frente a Chimbote, verano 2003

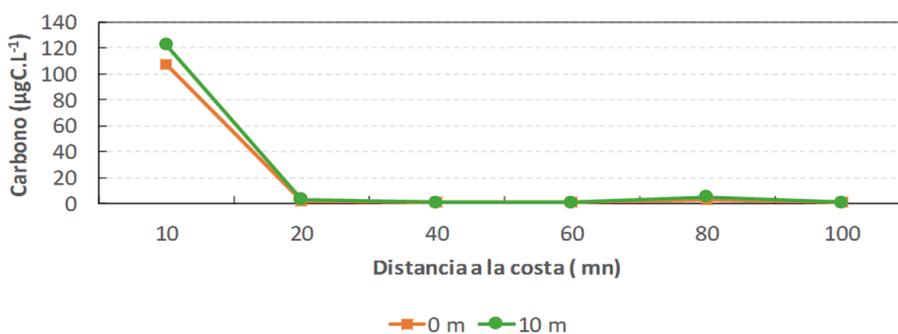


Figura 6.- Distribución de carbono orgánico total de *Chaetoceros* spp. (ugC.L⁻¹) según distancia a la costa frente a Chimbote, verano 2003

Para determinar las concentraciones de carbono orgánico total (ugC.L⁻¹) se ha considerado la abundancia total de cada especie en estudio (cél.L⁻¹). Al respecto, a 10 m de profundidad, *Chaetoceros curvisetus* Cleve, 1889 y *Ch. debilis* Cleve, 1894 fueron las que destacaron debido a sus altas densidades e incidieron directamente en su aporte de carbono orgánico total, el cual alcanzó valores de 57 y 49 μgC.L⁻¹, respectivamente (Fig. 5).

Según los resultados, se observó que mayor concentración total de carbono celular se registró en especies de menor tamaño, ya que fueron más abundantes. Al respecto, la figura 6 muestra las concentraciones de carbono orgánico del género *Chaetoceros* (diatomeas centrales) a 0 m y 10 m de profundidad, donde se registró que los máximos valores de carbono orgánico fueron determinados en las estaciones costeras, variando de 107 a 122 ugC.L⁻¹.

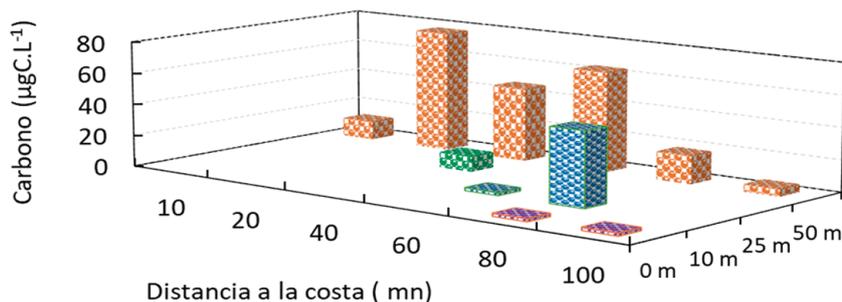


Figura 7.- Distribución de carbono orgánico total (ugC.L⁻¹) de *Coscinodiscus perforatus* Ehrenberg, 1845 en la columna de agua frente a Chimbote, verano 2003

La distribución del carbono orgánico total de *Coscinodiscus perforatus* en la columna de agua (0-50 m) registró altas concentraciones con valores de 77,303 y 63,909 ugC.L⁻¹ a 20 y 60 mn de la costa, respectivamente, ambos valores a 50 m de profundidad, además de 46,752 ugC.L⁻¹ a 10 m de profundidad y 80 mn de la costa (Fig. 7).

BAHÍA PUCUSANA

Parámetros físico-químicos

A nivel de superficie la temperatura del mar presentó valores entre 17,4 y 19,6 °C, el oxígeno disuelto varió entre 3,08 y 7,04 mL.L⁻¹ y el pH entre 7,64 y 8,18. La mayor concentración de Cl-a se registró en la estación 9 con un valor de 43,91 ug.L⁻¹ y la menor con 2,23 ug.L⁻¹ en la estación 5 frente a El Carbón y Pucusana, respectivamente.

Las concentraciones de nitratos fluctuaron entre 0,41 y 2,74 μM; los nitritos variaron entre 0,15 y 0,88 μM. Los fosfatos mostraron concentraciones consideradas bajas a intermedias, con valores entre 0,41 y 1,32 μM y, finalmente los silicatos alcanzaron concentraciones altas, que fluctuaron entre 8,79 y 18,91 μM (Tabla 4).

Biovolumen celular y carbono orgánico

En la bahía de Pucusana durante el verano 2008, en total se ha determinado el biovolumen y carbono orgánico de 7 dinoflagelados tecados, especies que estuvieron conformando la floración algal producida por *Gonyaulax polygramma* Stein, 1883 (Tabla 5).

En la figura 8, se puede observar que las cuantificaciones del biovolumen celular de los dinoflagelados oscilaron entre 3,37 y 5,46 μm³ lo cual se encuentra relacionado con un rango de carbono orgánico entre 2,46 y 4,26 pgC.cél⁻¹, proporcionados por las especies *Prorocentrum neogratile* Schütt, 1895 y *Protoperidinium depressum* Balech, 1974, respectivamente.

La figura 9 muestra la relación inversa entre el aporte de carbono orgánico y el biovolumen de acuerdo a sus abundancias totales. Se observó que, los mayores valores estuvieron dados por *G. polygramma* y *P. neogratile*, mientras que uno de los menores fue determinado por *P. depressum* Balech, 1974.

Tabla 4.- Registro de los parámetros físicos y químicos en superficie de las diferentes estaciones en la bahía de Pucusana, verano 2008

Estación de muestreo	5	6	7	8	9	Promedio	Desv. Estándar
Temperatura (°C)	17,4	17,5	17,8	19,3	19,6	18,32	±0,94
Salinidad (ups)	34,907	34,858	34,856	34,750	34,812	34,84	±0,052
Oxígeno (mL/L)	3,08	3,73	4,19	5,67	7,04	4,74	±1,43
Clorofila-a (μg/L)	2,23	3,54	6,07	10,33	43,91	13,22	±15,66
Fosfatos (μg/L)	1,32	0,83	1,25	1,30	0,41	1,02	±0,35
Silicatos (μM)	18,91	10,49	12,59	11,56	8,79	12,47	±3,46
Nitratos (μM)	2,57	2,74	0,65	1,24	0,41	1,52	±0,97
Nitritos (μM)	0,88	0,48	0,21	0,15	0,19	0,38	±0,27
pH	7,64	7,79	7,85	7,96	8,18	7,88	±0,18

Tabla 5.- Variación del biovolumen celular (μm^3) y carbono orgánico ($\text{pgC}\cdot\text{cél}^{-1}$) de dinoflagelados en la bahía Pucusana, verano 2008

Dinoflagelados	Biovolumen (μm^3)	Carbono Celular ($\text{pgC}/\text{cél}$)
<i>Tripes dens</i> Gómez 2013	128141	9189
<i>Tripes furca</i> Gómez 2013	54140	4357
<i>Gonyaulax polygramma</i> Stein 1883	58849	4684
<i>Prorocentrum gracile</i> Schütt 1895	2357	289
<i>Protopteridinium depressum</i> Balech 1974	289006	18584
<i>Protopteridinium</i> sp. Bergh 1881	2784	333
<i>Scrippsiella trochoidea</i> (Stein) LoeblichIII 1976	9117	927

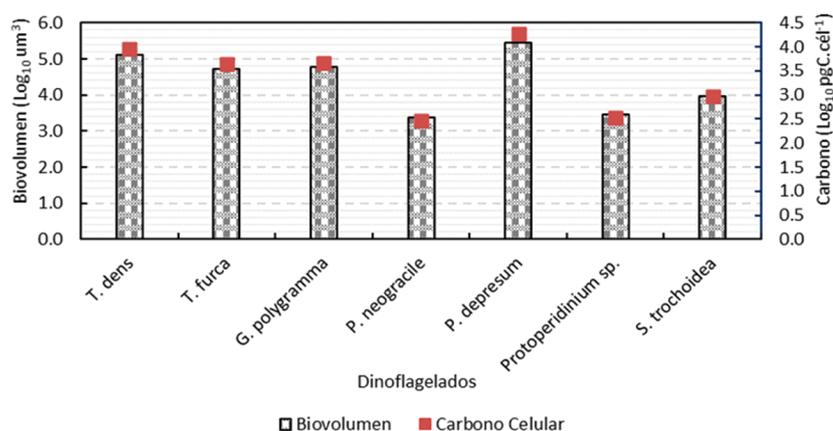


Figura 8.- Variación del biovolumen (μm^3) y carbono orgánico ($\text{pgC}\cdot\text{cél}^{-1}$) de dinoflagelados. Bahía Pucusana, verano 2008

Con respecto al flujo de carbono de *G. polygramma*, especie que ocasionó la floración algal se observó que, en todas las estaciones presentó valores que variaron entre $270 \mu\text{gC}\cdot\text{L}^{-1}$ (Est. 6) y $401 \mu\text{gC}\cdot\text{L}^{-1}$ (Est. 9), ambas estaciones ubicadas frente a El Carbón (Fig. 10).

Aunque entre las estaciones hubo baja diferenciación en la composición de los dinoflagelados dominantes, se presentó variación en el flujo de

carbono orgánico total de distribución de especies en cada estación, destacando la Est. 9 (frente a El Carbón) que obtuvo $520 \mu\text{gC}\cdot\text{L}^{-1}$ conformado por 6 especies (*Tripes furca* (Ehrenberg) F. Gómez, 2013, *P. depressum*, *Protopteridinium* sp., *Prorocentrum neogracile*, *S. trochoidea* (Stein) Loeblich III, 1976 y *G. polygramma*). A diferencia de la Est. 7 (frente a La Tiza) que presentó un mínimo valor de $250 \mu\text{gC}\cdot\text{L}^{-1}$ agrupando a 4 especies (*T. furca*, *P. depressum*, *Prorocentrum neogracile*, y *G. polygramma*) (Fig.11).

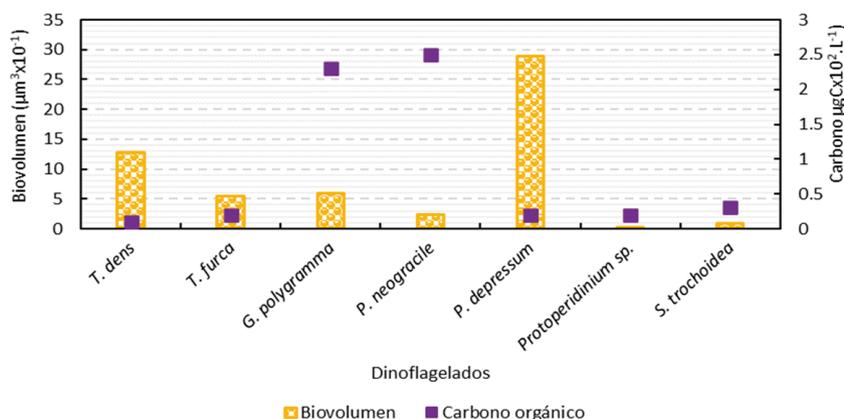


Figura 9.- Relación entre el biovolumen ($\mu\text{m}^3 \times 10^4$) y el aporte de carbono orgánico total ($\mu\text{gC} \times 10^2 \cdot \text{L}^{-1}$) de dinoflagelados. Bahía Pucusana, verano 2008

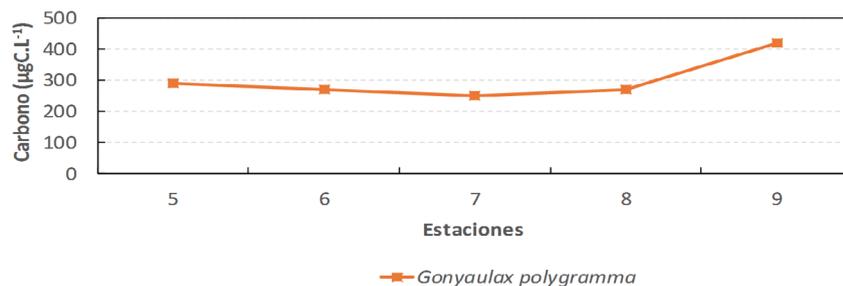


Figura 10.- Variación del carbono orgánico total de *Gonyaulax polygramma* Stein, 1883 ($\mu\text{gC.L}^{-1}$) durante la floración algal por estaciones de muestreo. Bahía Pucusana, verano 2008

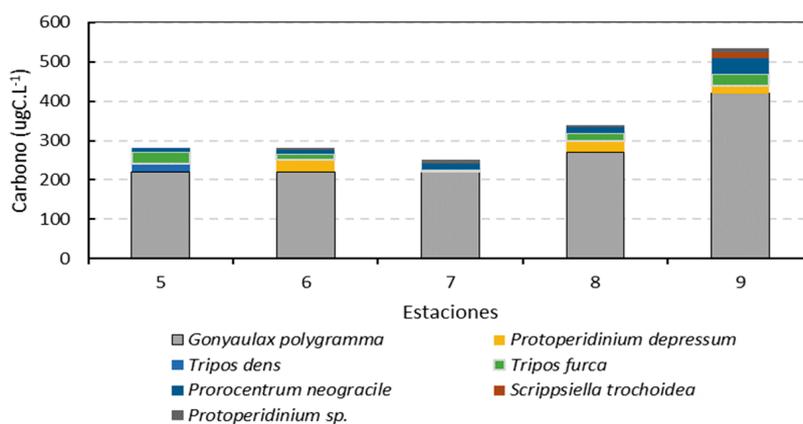


Figura 11.- Distribución y concentraciones de carbono orgánico total de dinoflagelados ($\mu\text{gC.L}^{-1}$) durante la floración algal nociva de *Gonyaulax polygramma* Stein, 1883. Bahía Pucusana, verano 2008

4. DISCUSIÓN

En la sección Chimbote, para el verano 2003 los parámetros ambientales mostraron un intenso afloramiento costero dentro de las 80 mn y los nutrientes presentaron altas concentraciones, sin embargo, por fuera de las 80 mn las concentraciones fueron menores a $1 \mu\text{M}$ de fosfatos y menor a $5 \mu\text{M}$ de silicatos y nitratos debido al ingreso de las Aguas Subtropicales Superficiales (ASS), por debajo de los 25 m los nutrientes se incrementaron con la profundidad. El oxígeno presentó una oxiclina por encima de los 25 y 80 m, la distribución de la clorofila-a obtuvo su máxima concentración de $10 \mu\text{gL}^{-1}$ en superficie y dentro de las 10 mn, mientras que por fuera de estas áreas las concentraciones fueron menores a $1 \mu\text{gL}^{-1}$.

En general, el biovolumen es reconocido como un factor altamente potente para evaluar la ecología y los patrones de distribución de las comunidades fitoplanctónicas considerando el volumen de las formas dimensionales en combinación con el conteo al microscopio (DONATO, 2001).

Por otro lado, el uso combinado de abundancia y biovolumen muestra una mejor alternativa para representar la biomasa y precisar la importancia de los taxa de diferentes tamaños dentro de las asociaciones de diatomeas pelágicas. Por lo expuesto, es común que especies de diatomeas de diferentes tamaños coexistan; las grandes suelen ser poco frecuentes y poco abundantes, mientras que, las pequeñas tienden a ser tanto frecuentes como abundantes BUSSE (2002).

El tamaño celular del fitoplancton varía entre diferentes géneros e incluso entre individuos diferentes, variedad que va desde unos pocos micrómetros a unos cuantos milímetros SUN & LIU (2003). Al respecto, los resultados obtenidos en ambos grupos (diatomeas y dinoflagelados) verificaron dicha observación, obtenida gracias a la observación microscópica, que viene a ser un medio directo y conveniente para obtener información a nivel de especies dentro de la taxa fitoplanctónica.

Al comparar los valores obtenidos para los biovolúmenes y contenidos de carbono orgánico de las especies estudiadas se hallaron muy cercanos con los reportados por OLENINA *et al.* (2006) quienes estudiaron especies fitoplanctónicas del mar Báltico (Fig. 12).

Las especies del género *Chaetoceros* spp., fueron las que destacaron de acuerdo a sus abundancias y a su concentración de carbono orgánico total, el cual alcanzó un valor de 107 $\mu\text{gC.L}^{-1}$ en la franja costera (10 mn), sustentando la disponibilidad de alimento para especies fitoplanctófagas y/o filtradoras en zonas de afloramiento. Durante este estudio se observó que la tendencia de las concentraciones de carbono orgánico de la diatomea *Coscinodiscus perforatus* fue acumularse a 50 m de profundidad, posiblemente ligada a la posición de la nutriclina. Se conoce que las diatomeas son organismos de tipo oportunista, tienden a crecer rápidamente cuando los recursos (nutrientes y luz) son abundantes (WILLIAMS & FOLLOWS, 2011), por lo que se infiere que posiblemente esta diatomea creció en ese período (verano) cuando los nutrientes estaban en altas concentraciones.

En la bahía de Pucusana, a excepción de la clorofila-a, los parámetros físicos y químicos registraron baja variación según los valores de desviación estándar, con valores menores de oxígeno a 4 mL.L^{-1} asociados a temperaturas

(17,4-17,8 °C) y salinidades (34,856-34,907 ups) que indicaron la presencia de aguas costeras frías (ACF). Sin embargo, frente a El Carbón y La Tiza resaltaron valores máximos de oxígeno (7,04 mL.L^{-1}), clorofila-a (43,91 $\mu\text{g.L}^{-1}$) y pH (8,18) sugiriendo alta productividad fitoplanctónica, lo cual estaría en relación con la presencia de la FAN producida por el dinoflagelado tecado *Gonyaulax polygramma* y especies acompañantes. Por consiguiente, esta especie fitoplanctónica (dinoflagelado), formadora de floraciones algales, efectuó un gran consumo de fosfatos ($< 1 \mu\text{M}$) y nitratos ($< 5 \mu\text{M}$) siendo diferente los silicatos y nitritos que mantuvieron concentraciones dentro de los rangos normales.

Según CHISHOLM (1992), ante condiciones saturadas de nutrientes, los fitoplanctones de tamaño grande (microfitoplancton) pueden generar florecimientos, mientras que los organismos pequeños tienden a permanecer relativamente constantes. Esto se debe a que, en aguas ricas en nutrientes el fitoplancton, de mayor tamaño, puede alcanzar tasas más altas de producción de biomasa (CERMEÑO *et al.*, 2005; MARAÑÓN *et al.*, 2007). Bajo este contexto, se corrobora una situación similar en la bahía de Pucusana con la FAN de *G. polygramma*, especie dominante durante este estudio, que contribuyó significativamente a la biomasa de carbono orgánico.

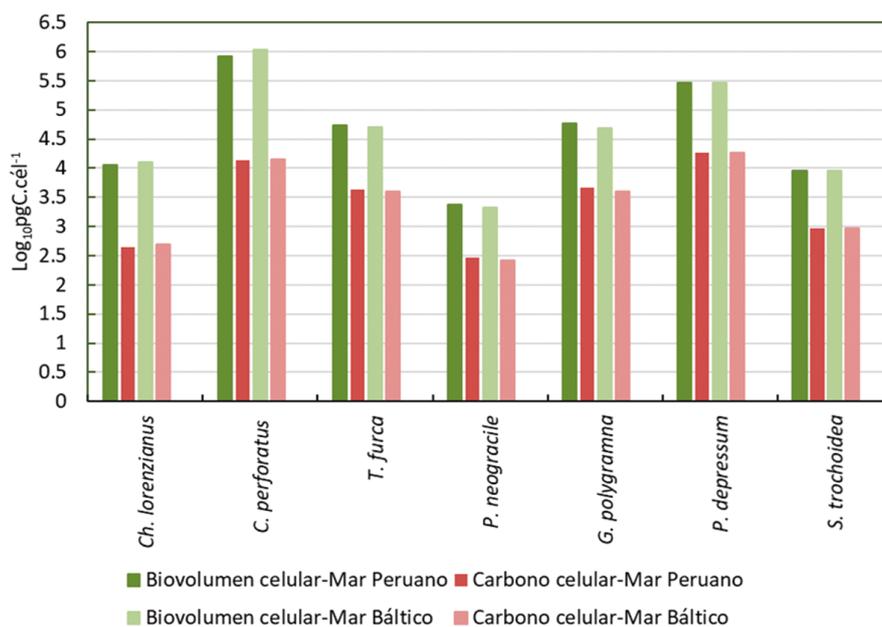


Figura 12.- Comparación entre el biovolumen celular (μm^3) y carbono orgánico (pgC.cél^{-1}) de especies del mar peruano con el mar Báltico

De acuerdo a los resultados, se obtuvo mayor concentración de carbono orgánico fitoplanctónico en Bahía Pucusana y áreas adyacentes, dominada por dinoflagelados, que frente a Chimbote, donde la comunidad estuvo dominada por diatomeas.

5. CONCLUSIONES

Los resultados expuestos constituyen una de las primeras estimaciones del biovolumen celular de diatomeas y dinoflagelados utilizando fórmulas geométricas relacionadas con la forma de la célula y su respectivo aporte de carbono orgánico en el mar peruano.

La concentración de carbono orgánico del microfitoplancton en la sección de Chimbote (diatomeas) y en la bahía de Pucusana (dinoflagelados) bajo condiciones de verano respondió a diferentes parámetros oceanográficos a nivel de superficie y entre 10 y 50 m de profundidad.

De los datos obtenidos en este estudio, se observaron variaciones en las concentraciones de carbono orgánico de acuerdo a las diferentes distancias a la costa y profundidades, encontrándose además que estas cantidades de carbono varían en forma inversamente proporcional al biovolumen celular.

En la sección Chimbote, las mayores concentraciones de carbono de diatomeas fueron registradas en superficie y 10 m de profundidad en las estaciones costeras (mayor abundancia de *Chaetoceros* spp., especies pequeñas), alcanzando un total de $107 \mu\text{gC.L}^{-1}$ durante el verano 2003. La mayor concentración de carbono orgánico de *Coscinodiscus perforatus* fue registrada a 50 m de profundidad con un máximo de $77 \mu\text{gC.L}^{-1}$.

Los dinoflagelados al contrario de las diatomeas, presentaron sus mayores abundancias (biomasas) en superficie, en la zona central de la bahía de Pucusana y asociadas a altas concentraciones de nutrientes. Este grupo presentó los organismos con mayores biovolúmenes promedio y, por lo tanto, con

mayor contenido de carbono orgánico. Dado que fue el grupo fitoplanctónico más abundante durante el verano 2008, su biomasa total de carbono superó ampliamente a las diatomeas con $401 \mu\text{gC.L}^{-1}$, asociado a la proliferación de *Gonyaulax polygramma* como una floración algal nociva (FAN).

6. REFERENCIAS

- BUSSE S. 2002. Benthic diatoms in the Gulf of Bothnia: Community analysis and diversity. Comprehensive summaries of Uppsala dissertations from the Faculty of Science and Technology 739. Acta Universitatis Upsaliensis-UPPSALLA. 30 p.
- CARRIT D, CARPENTER J. 1966. Comparison and evaluation of currently employed modification of the Winkler method for determining dissolved oxygen in sea water. J. Mar. Res. 24: 286-318.
- CERMEÑO P, ESTÉVEZ-BLANCO P, MARAÑÓN E, FERNÁNDEZ E. 2005. Maximum photosynthetic efficiency of size-fractionated phytoplankton assessed by ^{14}C -uptake and fast repetition rate fluorometry. Limnol. Oceanogr. 50(5): 1438-1446.
- CHISHOLM S W. 1992. Phytoplankton size. En: Falkowski, P.G & Woodhead. A.D. (Eds). Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea. Plenum, New York. pp. 213-237.
- DONATO J. 2001. Fitoplancton de los Lagos del Norte de Sudamérica (Colombia). Composición y Factores de Distribución. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Exact. Fís. Nat. Colección Jorge Álvarez Lleras. 19: 20-27.
- EDLER L. 1979. Phytoplankton and Chorophyll: Recommendations on Methods for Marine Biological Studies in the Baltic Sea. Baltic marine Biologists Publication. No. 5
- HILLEBRAND H, DÜRSELEN C.D, KIRSCHTEL D, ZOHARY T, POLLYNGHER U. 1999. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. J. Phycol. 35: 403-424.
- HOLM-HANSEN A, LORENZEN C, HOLMES R, STRICKLAND J. 1965. Fluorometric determination of chlorophyll. J. Cons. Perm. Explor. 30: 3-15.
- MARAÑÓN E, CERMEÑO P, RODRIGUEZ J, ZUBKOV M. V, HARRIS R.P. 2007. Scaling of phytoplankton photosynthesis and cell size in the ocean. Limnol. Oceanogr. 52(5): 2190-2198.
- OLENINA I, HAJDU S, EDLER L, ANDERSSON A, WASMUND N, BUSCH S, GÖBEL J, GROMISZ S, HUSEBY S, HUTTUNEN M, JAANUS A, KOKKONEN P., LEDAINE I, NIEMKIEWICZ E. 2006. Biovolumes and size-classes of phytoplankton in the Baltic Sea. HELCOM Balt. Sea Environ. Proc. 106: 144.
- PARSONS T R, TAKAHASHI M. 1973. Biological Oceanographic Processes. Pergamon Press, Oxford, New York, Toronto, Sydney, Braunschweig. 186 pp.

- SUN J, LIU D. 2003. Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. *J. Plankton Research*. 25(11): 1331-1346.
- STRICKLAND J, PARSONS T. 1968. Manual of sea Water Analysis. Bull. Fish. 1968 Res. Bd. Canada N° 125.
- THRÖNDSSEN J. 1978. Preservation and storage. In: Sournia A (Ed) *Phytoplankton manual*. UNESCO. Paris, p. 69-74.
- UTERMÖHL H. 1958. Zur Vervollkomnung der Quantitativen Phytoplankton methodic Mitt. *Inter Ver. Limnol*. 9: 1-38.
- WILLIAMS R G, FOLLOWS M J. 2011. *Ocean Dynamics and the Carbon Cycle*. Cambridge University Press. 416 pp.
- YENTSCH C, MENZEL D. 1963. A method for determination of phytoplankton chlorophyll and phaeophytin by fluorescence. *Deep-Sea Res.* 10: 221-231. http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/5123/1/2018_2004_CICIMAR_Maestria_lopez_fuerte_franciscoomar.pdf
- ZUTA S, GUILLÉN O. 1970. Oceanografía de las aguas costeras del Perú. *Bol Inst Mar Perú*. (2): 157-324.