



PRIMER REPORTE DE FLORACIÓN ALGAL NOCIVA DEL DINOFLAGELADO *Heterocapsa* sp. FRENTE A PLAYAS DE CAMANÁ, 2023

FIRST REPORT OF HARMFUL ALGAL BLOOM CAUSED BY THE DINOFLAGELLATE *Heterocapsa* sp. ALONG THE SHORES OF CAMANÁ, 2023

Deysi Valdivia-Chavez^{1,*}  Stevens Lucero¹  Cinthya Ramos-Chavez¹ 
Jorge del Aguila-Rivera¹  Sonia Sánchez² 

¹ Instituto del Mar del Perú, Laboratorio Costero de Camaná, Arequipa, Perú.

² Instituto del Mar del Perú, Dirección General de Investigaciones Oceanográficas y Cambio Climático, Callao, Perú.

*Correspondencia. E-mail: dvaldivia@imarpe.gob.pe

Recibido: 31-10-2023, Aceptado: 27-03-2024, Publicado: 17-06-2024

RESUMEN

Durante la primera quincena de febrero 2023, en la provincia de Camaná - Arequipa, se presentó por primera vez la floración algal nociva causada por el dinoflagelado tecado *Heterocapsa* sp.; esta microalga presenta sustancias tensioactivas en la superficie marina, y cuando el organismo se desintegra libera una toxina que es desplazada por olas y vientos a la orilla, la que causa irritación tanto en la piel como en el sistema respiratorio y ojos de los bañistas. La densidad celular promedio fue de $18,27 \times 10^5$ cel. L⁻¹. Durante los dos primeros días de la floración algal, los valores promedio de los parámetros oceanográficos fueron: temperatura superficial del mar 20,4 °C, salinidad 34,705, oxígeno disuelto 3,40 mL/L y pH 7,80. El desarrollo de la FAN, se dio a causa del incremento de la radiación, vientos fluctuantes y mayor ingreso de agua continental cargada con nutrientes.

PALABRAS CLAVE: *Heterocapsa*, floración algal nociva, Camaná, Arequipa, Perú

ABSTRACT

During the first fortnight of February 2023, in the province of Camaná-Arequipa, the first occurrence of harmful algal bloom caused by the dinoflagellate *Heterocapsa* sp. was documented. This microalga produces surfactant substances on the sea surface. When the organism disintegrates, it releases a toxin carried by waves and winds to the shore, causing irritation to the skin, respiratory system, and eyes of beachgoers. The average cell density reached 18.27×10^5 cells. L⁻¹. In the initial two days of the algal bloom, the average oceanographic parameters recorded were: sea surface temperature 20.4 °C, salinity 34.705, dissolved oxygen 3.40 mL/L, and pH 7.80. The proliferation of harmful algal bloom was attributed to an upsurge in radiation, variable winds, and an augmented inflow of continental water laden with nutrients.

KEYWORDS: *Heterocapsa*, harmful algal bloom, Camaná, Arequipa, Peru

ANTECEDENTES

Las floraciones algales nocivas (FAN) o mareas rojas son discoloraciones del agua de mar causadas por elevadas concentraciones de microorganismos fitoplanctónicos pigmentados; se dividen en Floraciones Algales Inocuas (discoloraciones producidas por elevadas poblaciones de diatomeas, dinoflagelados, etc.; no producen toxinas, son inofensivas, pueden durar de días a meses) y Floraciones Algales Potencialmente

BACKGROUND

Harmful algal blooms (HABs) or red tides represent discolorations in seawater caused by elevated concentrations of pigmented phytoplankton microorganisms. They are categorized into Harmless Algal Blooms (resulting from increased populations of diatoms, dinoflagellates, etc., which do not produce toxins and are innocuous, lasting from days to months) and Potentially Toxic Algal Blooms (involving

COMO REFERENCIAR ESTE ARTÍCULO: Valdivia-Chavez, D., Lucero, S., Ramos-Chavez, C., del Aguila-Rivera, J. & Sánchez, S. (2024). Primer reporte de floración algal nociva del dinoflagelado *Heterocapsa* sp. frente a playas de Camaná, 2023. *Bol Inst Mar Perú*, 39(1), 96-105. <https://doi.org/10.53554/boletin.v39i1.411>

Tóxicas (especies de dinoflagelados y diatomeas, altamente tóxicas, con densidades celulares moderadas a altas, causan daño en los recursos marinos y pueden ser un peligro para la salud humana).

A nivel mundial en los últimos años, se está evidenciando el incremento en la intensidad, duración y distribución geográfica de floraciones algales nocivas relacionado al aumento de la carga de nutrientes en los ambientes marinos y al impacto de las floraciones emergentes (HALLEGRAEFF *et al.*, 2021). En el litoral peruano, las floraciones algales suelen presentarse con regularidad en verano y primavera, sin embargo, se tienen reportes en otoño y eventualmente en invierno, haciéndose presentes con distintas coloraciones: rojo oscuro, marrón y verde blanquecino, la intensidad está en función del organismo productor y la concentración de los mismos. Los acentuados procesos de eutroficación, asociado a la variabilidad climática interanual (ENSO), estarían contribuyendo a la aparición de las mareas (SÁNCHEZ & DELGADO, 1996).

SÁNCHEZ *et al.* (2021), en las costas de Perú registraron 40 floraciones algales nocivas (FAN) asociadas al incremento de temperatura superficial (El Niño Costero 2017); las especies que ocasionaron estas floraciones fueron 14 dinoflagelados, 1 flagelado, 1 ciliado. Lo más cercano a Arequipa, se registraron floraciones algales en Pisco, causadas por *Heterosigma akashiwo*, *Akashiwo sanguinea* y *Heterocapsa* sp., también ligadas a valores altos de temperatura (TSM de 25,9; 25,0 y 26,6 °C, respectivamente).

Heterocapsa, es un dinoflagelado que cuenta con especies que forman floraciones algales nocivas (FAN) y causan efectos ecológicos nocivos como muerte masiva de moluscos y actividad hemolítica en especies marinas (ODA *et al.*, 2004; MOREIRA-GONZALEZ, 2010; AKÉ-CASTILLO, *et al.*, 2016; WU *et al.*, 2022). Según datos recientes de AlgaeBase (<https://www.algaebase.org/>), hay 26 especies del género *Heterocapsa*, siendo tóxicas *H. circularisquama* y *H. bohaiensis* (ODA *et al.*, 2004; WU *et al.*, 2022).

Para el litoral peruano no se tiene documentada la presencia de *Heterocapsa* sp., a pesar que

highly toxic species of dinoflagellates and diatoms, with moderate to high cell densities, causing damage to marine resources and posing potential health risks for humans).

Globally, the last few decades have witnessed a noticeable surge in the intensity, duration, and geographical spread of harmful algal blooms, linked to heightened nutrient levels in marine environments and the impact of emerging blooms (HALLEGRAEFF *et al.*, 2021). Along the Peruvian coast, algal blooms are a regular occurrence in summer and spring, with occasional reports in autumn and, on rare occasions, winter. These manifestations come in various hues: dark red, brown, and whitish-green, with intensity correlating to the producing organism and its concentration. The intensified eutrophication processes, coupled with interannual climatic variability (ENSO), are believed to contribute to the emergence of these blooms (SÁNCHEZ & DELGADO, 1996).

SÁNCHEZ *et al.* (2021), documented 40 harmful algal blooms (HABs) along the Peruvian coast, associated with an increase in sea surface temperature (coastal El Niño 2017). The species responsible for these blooms included 14 dinoflagellates, 1 flagellate, and 1 ciliate. The closest occurrences to Arequipa were algal blooms recorded in Pisco, caused by *Heterosigma akashiwo*, *Akashiwo sanguinea*, and *Heterocapsa* sp. linked to high-temperature values (sea surface temperature of 25.9, 25.0, and 26.6 °C, respectively).

Heterocapsa, is a dinoflagellate known for forming harmful algal blooms (HABs) and causing detrimental ecological effects such as mass mollusk mortality and hemolytic activity in marine species (ODA *et al.*, 2004; MOREIRA-GONZALEZ, 2010; AKÉ-CASTILLO *et al.*, 2016; WU *et al.*, 2022). According to recent data from AlgaeBase (<https://www.algaebase.org/>), there are 26 species within the genus *Heterocapsa*, with *H. circularisquama* and *H. bohaiensis* identified as toxic (ODA *et al.*, 2004; WU *et al.*, 2022).

Despite records since 2017, 2020, 2021, and 2023 of HAB occurrences in Callao, Paracas, Ilo, and

hay registros desde 2017, 2020, 2021 al 2023 que ocasionaron FAN en Callao, Paracas, Ilo y Camaná, respectivamente. En este trabajo se da a conocer el primer registro de *Heterocapsa* sp. que ocasionó la FAN en el verano 2023 frente a Camaná, Arequipa, Perú.

METODOLOGÍA

Para determinar la causa de lo acontecido a los pobladores de la zona, quienes reportaron presentar diversos problemas de salud (irritación, ardor de garganta e inflamación en la piel) al frecuentar las playas de Camaná y estar en contacto directo o indirecto con el agua de mar, se efectuaron tres estaciones de muestreo entre el 6 y 14 de febrero 2023 frente a El Chorro (16°39'16,998''S - 72°41'26,541''W), Playa Tortuga (16°39'30,24''S - 72°39'47,34''W) y San Marino (16°40'5,304''S - 72°35'32,639''W) (Fig. 1).

En cada estación se obtuvieron tres muestras de agua, las que se fijaron con formalina neutralizada (bórax 2%) y se transportaron al laboratorio. El recuento celular se realizó con la metodología de UTERMÖHL (1958), los valores de densidad de *Heterocapsa* sp. (cel x 10⁵ L⁻¹) se relacionaron con la temperatura superficial del mar (TSM).

Camaná, respectively, the presence of *Heterocapsa* sp. has not been documented along the Peruvian coast. This work presents the first record of *Heterocapsa* sp. causing HAB in the summer of 2023 off the coast of Camaná, Arequipa, Peru.

METHODOLOGY

At three sampling stations off the coast of Camaná, Arequipa, research was undertaken to determine the cause of reported health issues among residents. The concerns, including irritation, sore throats, and skin inflammation, were reported by those frequenting the beaches and coming into contact with seawater. The sampling stations, established between February 6th and 14th, 2023, were located in El Chorro (16°39'16.998''S - 72°41'26.541''W), Tortuga Beach (16°39'30.24''S - 72°39'47.34''W), and San Marino (16°40'5.304''S - 72°35'32.639''W) (Fig. 1).

At each station, three water samples were collected, treated with neutralized formalin (2% borax), and transported to the laboratory. Cell counts were conducted using the UTERMÖHL methodology (1958), and the density values of *Heterocapsa* sp. (cel x 10⁵ L⁻¹) were correlated with sea surface temperature (SST).



Figura 1.- Localización de puntos de muestreo de FAN *Heterocapsa* sp., Camaná, Arequipa

Figure 1. Location of sampling points of HAB caused by *Heterocapsa* sp., Camaná, Arequipa

La temperatura se registró con un balde de 20 L y un termómetro de inmersión total con bulbo de mercurio (-8 a 32 °C), la salinidad se determinó con un Salinómetro Guildline modelo 8410A. El oxígeno disuelto se analizó por el método de Winkler modificado por CARRIT y CARPENTER (1966) y el potencial de hidrógeno (pH) con un potenciómetro de campo Mettler Toledo. También se recolectó agua para determinar la concentración de nutrientes que se analizó mediante el espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 45.

Las variables atmosféricas (temperatura de aire y velocidad de viento) se obtuvieron con la estación meteorológica marca Davis Instruments modelo Vantage Pro2 Plus, los valores de caudal del río se extrajeron de la página online de la red de monitoreo hidrológico del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

RESULTADOS

Heterocapsa sp. pertenece al reino Chromista, es un dinoflagelado tecado cuyo tamaño va de 7,4 a 45 µm de largo y de 5,4 a 30 µm de ancho, epitheca hemisférica a cónica, hipoteca redondeada con o sin antapical proyección, cingulo más o menos ancho, ecuatorial a post-ecuatorial y descendente, surco que invade la epitheca (Fig. 2). Es un género planctónico, cosmopolita; presenta 20 especies catalogadas como tóxicas, que ocasionan efectos de hemólisis en peces, moluscos bivalvos, llevando a la muerte de los organismos (ODA *et al.*, 2004; MOREIRA-GONZÁLEZ, 2010; AKÉ-CASTILLO *et al.*, 2016).

En febrero 2023, durante la ocurrencia de la FAN, en las playas de Camaná, se recibieron reportes de la población local porque presentaron diversos síntomas (irritación e inflamación en la piel y ojos, así como ardor de garganta) al frecuentar las playas de esa localidad y haber accedido directa o indirectamente al agua de mar.

Indicadores en el agua de mar: se observó presencia de abundante espuma marina en la orilla y zonas rocosas como señal del final del periodo de la FAN de *Heterocapsa*.

Se registró al dinoflagelado tecado *Heterocapsa* sp. con densidad celular promedio $18,27 \times 10^5$ cel. L⁻¹, con mayor densidad celular en la estación de San Marino el día 9 de febrero con $113,98 \times 10^5$ cel. L⁻¹. La floración algal culminó el 14 de febrero (Tabla 1).

Temperature readings were recorded using a 20 L bucket and a total immersion mercury bulb thermometer (-8 to 32 °C), salinity was measured with a Guildline Salinometer model 8410A, dissolved oxygen was analyzed using the modified Winkler method by CARRIT & CARPENTER (1966), and pH was assessed with a Mettler Toledo field potentiometer. Water samples were also gathered to determine nutrient concentrations, which were analyzed using the Perkin Elmer Lambda 45 spectrophotometer.

Atmospheric variables, including air temperature and wind speed, were acquired using the Davis Instruments Vantage Pro2 Plus weather station. Additionally, river flow data were extracted from the online platform of the Peruvian National Meteorology and Hydrology Service (SENAMHI) hydrological monitoring network.

RESULTS

Heterocapsa sp. is a thecate dinoflagellate characterized by dimensions ranging from 7.4 to 45 µm in length and 5.4 to 30 µm in width. It features a hemispherical to conical epitheca, a rounded hypotheca with or without antapical projection, a more or less broad cingulum that is equatorial to post-equatorial and descending, and a sulcus invading the epitheca (Fig. 2). This planktonic and cosmopolitan genus comprises 20 classified toxic species, known to induce hemolysis effects in fish and bivalve mollusks, ultimately leading to organism mortality (ODA *et al.*, 2004; MOREIRA-GONZÁLEZ, 2010; AKÉ-CASTILLO *et al.*, 2016).

In February 2023, during the onset of a HAB, reports surfaced from the local population experiencing various symptoms (skin and eye irritation, along with sore throat) while frequenting the beaches of this locality and being in direct or indirect contact with seawater.

Indicators in seawater: Notably, the presence of abundant marine foam on the shore and rocky areas served as a visual marker signifying the conclusion of the *Heterocapsa* HAB period.

The thecate dinoflagellate *Heterocapsa* sp. was recorded with an average cell density of 18.27×10^5 cel. L⁻¹, peaking at the San Marino station on February 9th, with 113.98×10^5 cel. L⁻¹. The algal bloom concluded on February 14th (Table 1).

Otras especies acompañantes: *Octactis octonaria*, *Dinophysis acuminata*, *Protoperidinium* sp., *Surirella* sp., *Biddulphia* spp., *Aulacodiscus kittoni*, *Coscinodiscus* sp., *Oxyphysis oxitoides*, *Eucampia zodiacus*.

Other accompanying species: *Octactis octonaria*, *Dinophysis acuminata*, *Protoperidinium* sp., *Surirella* sp., *Biddulphia* spp., *Aulacodiscus kittoni*, *Coscinodiscus* sp., *Oxyphysis oxitoides*, *Eucampia zodiacus*.

Variables oceanográficas

Durante el primer día de monitoreo se registró valores promedio de TSM de 21,2 °C, 34,881 de salinidad superficial del mar (SSM), 3,51 mL/L de oxígeno disuelto superficial (ODS) y 7,90 unidades de pH. El segundo día el valor promedio de la TSM descendió a 19,5 °C al igual que el promedio de SSM, el cual fue de 34,529, sin embargo, el ODS promedio fue de 5,28 mL/L asociado a un promedio de 7,69 unidades de pH. El ultimo día los valores promedio de la TSM, SSM, ODS y pH fueron 17,6 °C, 34,678 ups, 4,42 mL/L y 7,60 unidades, respectivamente (Tabla 2, Fig. 3).

Oceanographic variables

On the initial day of observation, the average surface temperature (SST) recorded a value of 21.2 °C, accompanied by a surface salinity of 34.881, dissolved oxygen levels of 3.51 mL/L, and a pH reading of 7.90. Subsequently, on the second day, both the average SST and surface salinity decreased to 19.5 °C and 34.529, respectively. Interestingly, the average dissolved oxygen concentration rose to 5.28 mL/L, with a corresponding pH level of 7.69. Concluding the monitoring period, the last day presented average values of 17.6 °C for SST, 34.678 psu for surface salinity, 4.42 mL/L for dissolved oxygen, and 7.60 units for pH (Table 2, Fig. 3).

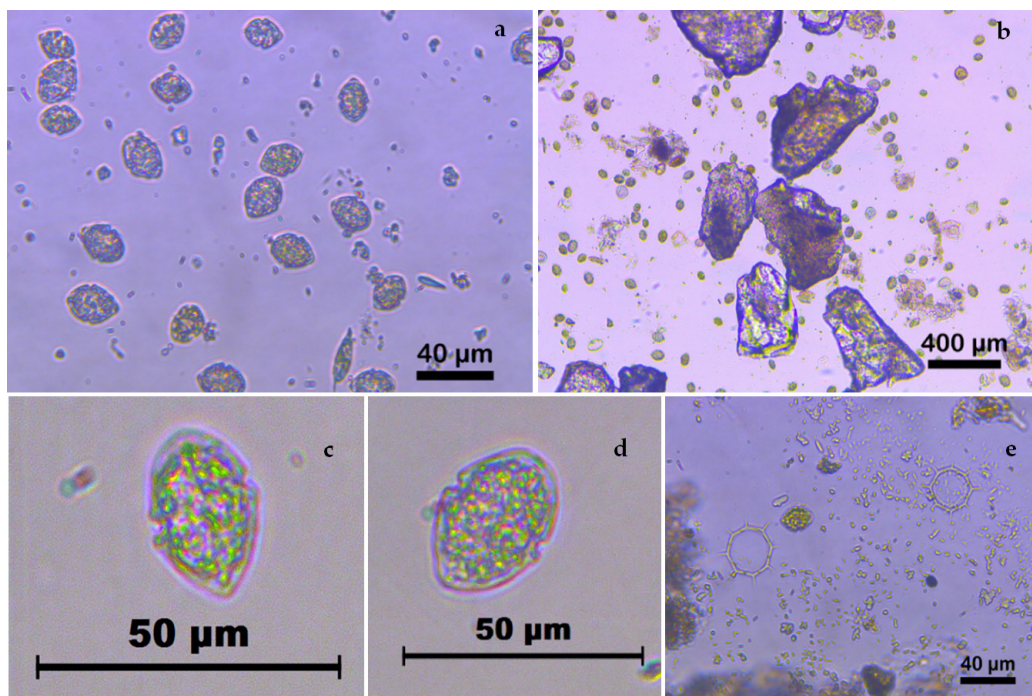


Figura 2.- a, b, c, d: *Heterocapsa* sp., e: *Octactis octonaria*. Fotografía: Deysi Valdivia
 Figure 2. a, b, c, d: *Heterocapsa* sp., e: *Octactis octonaria*. Photography: Deysi Valdivia

Tabla 1.- Densidad celular de *Heterocapsa* sp. x 10⁵ cel. L⁻¹ por estación y fecha de muestreo

Table 1. Cell density of *Heterocapsa* sp. x 10⁵ cel. L⁻¹ per station and sampling date

	6/2/2023	9/2/2023	14/2/2023
El Chorro	9,03	6,70	
Playa Tortuga	7,45	7,05	0,0
San Marino	20,25	113,98	

Tabla 2.- Valores de las variables oceanográficas superficiales por estación y fecha de muestreo

Table 2. Surface oceanographic variable values by station and sampling date

	06/02/2023				09/02/2023				14/02/2023			
	TSM ⁽¹⁾ [°C]	SSM ⁽²⁾ [ups]	ODS ⁽³⁾ [mL/L]	pH	TSM [°C]	SSM [ups]	ODS [mL/L]	pH	TSM [°C]	SSM [ups]	ODS [mL/L]	pH
El Chorro	21,5	34,887	3,34	7,95	18,9	34,183	3,50	7,69	17,0	34,591	4,02	7,66
Playa Tortuga	21,2	34,861	3,61	7,90	19,5	34,743	5,53	7,69	17,9	34,832	4,37	7,61
San Marino	21,0	34,895	3,58	7,86	20,2	34,661	6,81	7,68	17,8	34,610	4,86	7,53

Nota: (1) TSM: Temperatura superficial del mar, (2) SSM: Salinidad superficial del mar, (3) ODS: Oxígeno disuelto superficial

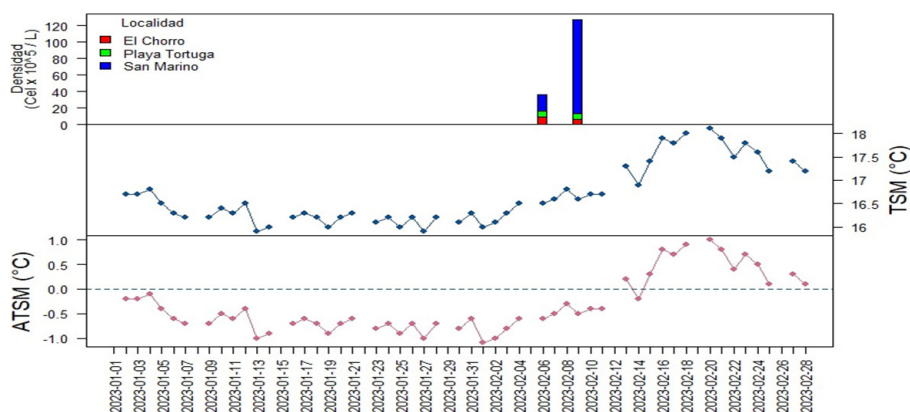


Figura 3.- Densidad celular *Heterocapsa* sp. x 10⁵ cel. L⁻¹ en relación a la TSM y ATSM

Figure 3. Cell density of *Heterocapsa* sp. x 10⁵ cel. L⁻¹ in relation to SST and SSTA

Tabla 3.- Valores de las concentraciones de nutrientes inorgánicos disueltos por estación y fecha de muestreo

Table 3. Dissolved inorganic nutrient concentrations values by station and sampling date

	06/02/2023				09/02/2023				14/02/2023			
	FOSFATO [µM]	SILICATO [µM]	NITRITO [µM]	NITRATO [µM]	FOSFATO [µM]	SILICATO [µM]	NITRITO [µM]	NITRATO [µM]	FOSFATO [µM]	SILICATO [µM]	NITRITO [µM]	NITRATO [µM]
El Chorro	1,45	4,11	0,28	0,76	1,31	9,95	0,38	5,42	1,63	4,21	0,78	12,70
Playa Tortuga	0,72	4,02	0,12	1,45	1,08	5,45	0,34	3,77	1,07	2,49	0,70	13,17
San Marino	0,72	4,02	0,12	1,86	0,95	4,97	0,22	1,67	1,31	3,06	0,88	14,04

Las concentraciones de fosfatos y nitratos fueron inferiores durante el primer y segundo día de monitoreo, luego de culminado el florecimiento algal (14/2/2023) se notó el restablecimiento de dichas concentraciones. En cuanto a las concentraciones de silicatos y nitritos, no se apreció variabilidad (Tabla 3).

The concentrations of phosphates and nitrates exhibited lower levels during the initial and second day of monitoring. Following the culmination of the algal bloom on February 14, 2023, a discernible restoration of these concentrations was observed. Silicate and nitrite concentrations, however, displayed no significant variability (Table 3).

Variables atmosféricas e hidrológicas: a fines de enero 2023 la temperatura del aire se incrementó (sobrepasando 24 °C) mientras que la velocidad del viento presentó marcadas fluctuaciones. Al inicio de la floración algal hubo periodos de tiempo en los cuales los valores de viento incrementaron

Atmospheric and hydrological variables: By late January 2023, the air temperature experienced an increase, surpassing 24 °C, while wind speed showed marked fluctuations. At the onset of the algal bloom, distinct periods were noted, wherein wind values exhibited both increments (January

(24-ene, 28-ene y 03-feb) y disminuyeron (26-ene, 30-ene y 04-feb) consecutivamente en comparación con enero-2023, cuando la mayoría de valores estuvieron sobre los 2,5 m/s (Fig. 4).

Asimismo, el ingreso de agua continental proveniente de los ríos (Quilca, Camaná y Ocoña) fue mayor, producto de las intensas lluvias en la zona alto andina. El caudal de río Chili comenzó a incrementar a fines de enero 2023 y sus máximos (28,3 y 38,9 m³/s) ocurrieron el 5 y 9 de febrero 2023 superando el promedio histórico para ese lapso de tiempo, coincidiendo con el desarrollo de la floración algal. El caudal del río se estabilizó (25 m³/s) entre el 10 y 18 de febrero 2023, periodo en el cual ya la FAN había culminado (Fig. 5).

24, January 28, and February 3) and subsequent decrements (January 26, January 30, and February 4) in comparison to early January 2023. During this time, most values were consistently above 2.5 m/s (Fig. 4).

Furthermore, the influx of continental water from the rivers (Quilca, Camaná, and Ocoña) intensified due to heavy rainfall in the high Andean region. The Chili River's flow began to escalate by late January 2023, reaching its peak (28.3 and 38.9 m³/s) on February 5 and 9 th, 2023, surpassing the historical average for that period. This synchronization coincided with the development of the algal bloom. Subsequently, the river's flow stabilized at 25 m³/s between February 10 and 18, 2023, a timeframe by which the HAB had already concluded (Fig. 5).

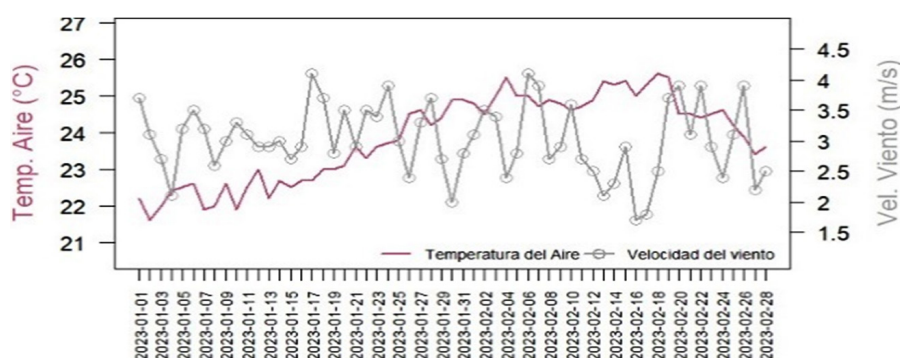


Figura 4.- Temperatura del aire y la velocidad del viento, enero y febrero del 2023. Laboratorio Costero de Camaná, carretera Panamericana Sur 848

Figure 4. Air temperature and wind speed, January and February 2023. Coastal Laboratory of Camaná, 848 Panamericana Sur highway

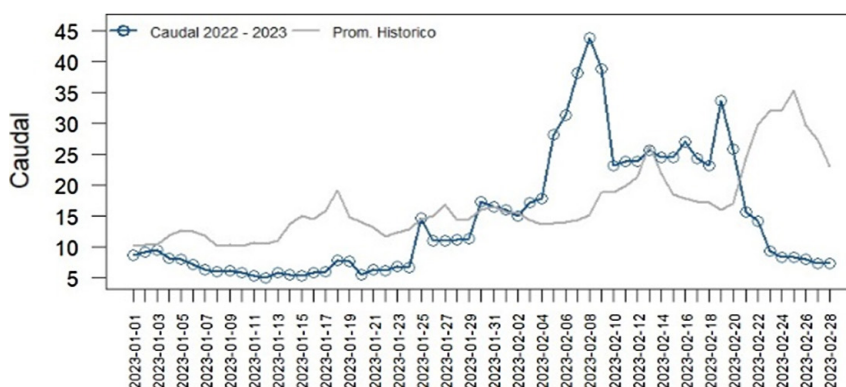


Figura 5.- Promedio del caudal de río Chili (m³/s) entre 2022-2023 frente al histórico. Estación "Puente del Diablo", Uchumayo, Arequipa. Altura 1961 msnm

Figure 5. Average Chili River flow (m³/s) between 2022-2023 vs. historical. "Puente del Diablo", Uchumayo, Arequipa. Height 1961 masl

DISCUSIÓN

Similar a esta FAN ocasionada por *Heterocapsa* sp. se registró otra FAN en mayo del 2021 entre Tacna y Moquegua, con síntomas parecidos en la población aledaña (Laboratorio Costero de Ilo). La floración algal de *Heterocapsa* estuvo relacionada con promedios de temperatura de 20,40 °C, salinidad de 34,71, oxígeno disuelto de 4,40 mL/L y 7,80 unidades de pH. El valor promedio de temperatura de 20,4 °C se encuentra dentro de la "categoría 1" que clasifica a las especies formadoras de FAN en relación con el rango de temperatura (SÁNCHEZ *et al.*, 2021). Estas floraciones se presentan con mayor frecuencia en verano y otoño, cuando la incidencia de los rayos solares es más intensa y favorece el calentamiento de las capas superficiales del mar. Las floraciones algales a menudo ocurren en respuesta a cambios estacionales de temperatura. En primavera y verano, cuando las temperaturas son más cálidas, las condiciones son propicias para el crecimiento y la proliferación de ciertas especies de algas. Sin embargo, la relación exacta entre las floraciones algales y la temperatura puede variar según el tipo de alga y las condiciones ambientales locales (PAERL & HUISMAN, 2009).

En los primeros días de monitoreo, las concentraciones de oxígeno estuvieron ligeramente disminuidas, con valores debajo de los 4,0 mL/L en relación a densidades celulares altas de *Heterocapsa* sp., concordando con lo descrito por DIAZ y ROSENBERG (2008) y SMITH (2021).

Los datos de pH más próximos a 8,0 influyeron directamente para que los fosfatos y nitratos, fueran más asimilables por el dinoflagelado *Heterocapsa* sp., y de esa manera aumente su densidad celular, concordando con PAERL y HUISMAN (2009).

A comienzos de febrero 2023, se evidenció el incremento del caudal del río Chili favoreciendo el ingreso de nutrientes a la zona costera de Camaná a través del río Quilca, los cuales son distribuidos hacia el norte por acción de las corrientes oceánicas, esta disponibilidad de nutrientes beneficia el crecimiento del fitoplancton, lo que coincide con lo indicado por ESCOBAR (2002) y XU *et al.* (2020).

DISCUSSION

A similar HAB caused by *Heterocapsa* sp. was documented in May 2021 between Tacna and Moquegua, showcasing similar symptoms in the adjacent population (Coastal Laboratory of Ilo). The *Heterocapsa* algal bloom correlated with an average temperature of 20.40 °C, salinity of 34.71, dissolved oxygen of 4.40 mL/L, and pH of 7.80. The average temperature of 20.4 °C falls within 'category 1', classifying HAB-forming species based on the temperature range (SÁNCHEZ *et al.*, 2021). These blooms are more prevalent in summer and autumn when solar radiation intensifies, fostering the warming of the sea's surface layers. Algal blooms often respond to seasonal temperature changes. In spring and summer, when temperatures are warmer, conditions favor the growth and proliferation of certain algae. However, the exact relationship between algal blooms and temperature can vary depending on the type of algae and local environmental conditions (PAERL & HUISMAN, 2009).

During the initial monitoring days, oxygen concentrations slightly decreased, registering values below 4.0 mL/L in relation to high cell densities of *Heterocapsa* sp., aligning with observations by DIAZ & ROSENBERG (2008) and SMITH (2021).

pH values near 8.0 directly influenced the assimilation of phosphates and nitrates by the dinoflagellate *Heterocapsa* sp., leading to an increase in cell density, consistent with findings by PAERL & HUISMAN (2009).

In early February 2023, an increase in the Chili River's flow was evident, facilitating the influx of nutrients to the coastal area of Camaná through the Quilca River. These nutrients, propelled northward by ocean currents, benefited phytoplankton growth, aligning with insights from ESCOBAR (2002) and XU *et al.* (2020).

WANG *et al.* (2012) noted that robust wind periods cause algae to remain suspended in the water column instead of sinking to lower layers. Consequently, algal biomass significantly increases, leading to blooms during calm periods.

WANG *et al.* (2012) menciona que fuertes periodos de viento provocan que las algas queden suspendidas en la columna de agua en lugar de hundirse en los estratos inferiores, por lo tanto, la biomasa de algas aumenta de forma evidente y se producen floraciones durante el tiempo de calma. Días previos al desarrollo de la floración algal de *Heterocapsa* sp., se presentaron eventos de intensificación y debilitamiento del viento lo que produjo marcados movimientos del agua en la capa superficial, provocando que el dinoflagelado quede suspendido en ella y se incremente su crecimiento.

Durante el monitoreo de la FAN en Camaná, se observó que la concentración de nutrientes presentó una relación inversa respecto a la densidad celular de *Heterocapsa* sp., posiblemente fueron utilizados por el dinoflagelado para su desarrollo con mayor intensidad en los primeros días del monitoreo. Aunque los factores físicos y los organismos herbívoros pueden afectar el crecimiento de las poblaciones fitoplanctónicas en los ecosistemas acuáticos, la producción algal está a menudo limitada por la cantidad de sales nutritivas disponibles (PAERL, 1982). Algunas especies del fitoplancton tienen gran interés ecológico debido a que presentan diferentes captaciones de nutrientes y pueden producir biotoxinas que son transmitidas mediante la cadena alimentaria (fitoplancton, zooplancton, peces); además, pueden ser vectores de toxinas y también alterar los niveles tróficos y la biodiversidad del ecosistema, que involucra directamente la salud del hombre (ANDERSEN, 1996). Muchas fuentes de nutrientes pueden estimular la proliferación de algas dañinas, incluidas las aguas residuales y los desechos animales, la deposición atmosférica y la entrada de aguas subterráneas, así como la escorrentía agrícola y de otros fertilizantes. Otra fuente más, está relacionada con la creciente industria de la acuicultura en muchas áreas costeras (ANDERSON *et al.*, 2002).

Agradecimientos

Especial agradecimiento al Coordinador del Laboratorio Costero de Camaná, Ing. Pesq. Marco Quiroz Ruiz, por su apoyo en la revisión del documento. A los compañeros, Sr. Helbert Rodríguez, Ing. Pesq. Roger Muñoz, colaboradores en el desarrollo de la investigación con la colecta de muestras.

In the days preceding the development of the *Heterocapsa* sp. algal bloom, events of wind intensification and weakening occurred, inducing noticeable water movements in the surface layer, resulting in the suspension of the dinoflagellate and promoting its growth.

Throughout the monitoring of the HAB in Camaná, nutrient concentration exhibited an inverse relationship with the cell density of *Heterocapsa* sp., potentially utilized by the dinoflagellate for more intense development in the initial monitoring days. Although physical factors and herbivorous organisms can influence the growth of phytoplankton populations in aquatic ecosystems, algal production is often constrained by the quantity of available nutrients (PAERL, 1982). Some phytoplankton species hold ecological significance as they showcase diverse nutrient uptake mechanisms and can produce biotoxins transmitted through the food chain (phytoplankton, zooplankton, fish). Additionally, they can act as toxin vectors and also alter trophic levels and ecosystem biodiversity, directly impacting human health (ANDERSEN, 1996). Numerous nutrient sources can stimulate the proliferation of harmful algae, including wastewater and animal waste, atmospheric deposition, groundwater input, as well as agricultural runoff and other fertilizers. Another notable source is linked to the expanding aquaculture industry in many coastal areas (ANDERSON *et al.*, 2002).

Acknowledgments

We would like to give special thanks to the Coordinator of the Coastal Laboratory of Camaná, Fishing Engineer Marco Quiroz Ruiz, for his support in the revision of the document. To our colleagues, Mr. Helbert Rodríguez and Fishing Engineer Roger Muñoz, who collaborated in the development of the research with the sample collection.

REFERENCIAS

- AKÉ-CASTILLO, J. A., RODRÍGUEZ-GÓMEZ, C. F., PERALES-VALDIVIA, H. & SANAY-GONZÁLEZ, R. (2016). Florecimiento de *Heterocapsa rotundata* (Dinophyta) en el estuario río Jamapa, Veracruz. En E. García-Mendoza, S. I. Quijano-Scheggia, A. Olivos-Ortiz & E. J. Núñez-Vázquez (Eds.), *Florecimientos algales nocivos en México* (pp. 322-333). CICESE. <https://www.cicese.edu.mx>
- ANDERSEN, P. (1996). *Design and implementation of some harmful algal monitoring systems* (IOC Technical Series No. 44). Unesco & Conseil international pour l'exploration de la mer. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=dcd54a0ff5a3155c551f650241e0daec01150bb3>
- ANDERSON, D. M., GLIBERT, P. M. & BURKHOLDER, J. M. (2002). Harmful algal blooms and eutrophication: Nutrient sources, composition and consequences. *Estuaries*, 25(4b), 704-726. <https://doi.org/10.1007/BF02804901>
- CARRIT, D. E. & 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.
- DIAZ, R. J. & ROSENBERG, R. (2008). Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*, 321(5891), 926-929. <https://doi.org/10.1126/science.115640>
- ESCOBAR, J. (2002). *La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar* (Serie recursos naturales e infraestructura 50). CEPAL. <https://repositorio.cepal.org/items/457595f8-9384-4046-92c7-afb7f351f6>
- HALLEGRAEFF, G. M., ANDERSON, D. M., BELIN, C., DECHRAOUI-BOTTEIN, M. Y., BRESNAN, E., CHINAIN, M., ENEVOLDSEN, H., IWATAKI, M., KARLSON, B., MCKENZIE, C. H., SUNESEN, I., PITCHER, G. C., PROVOOST, P., RICHARDSON, A., SCHWEIBOLD, L., TESTER, P. A., TRAINER, V. L., YÑIGUEZ, A. T. & ZINGONE, A. (2021). Perceived global increase in algal blooms is attributable to intensified monitoring and emerging bloom impacts. *Communications Earth & Environment*, 2(1), 117. <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00178-8>
- MOREIRA-GONZALEZ, A. R. (2010). Dinoflagellate blooms in eutrophic zones of Bahía de Cienfuegos, Cuba. *Harmful Algae News*, 41, 10-11. https://www.researchgate.net/publication/292963476_Dinoflagellates_blooms_in_eutrophic_zones_of_Cienfuegos_Bay_Cuba
- ODA, T., SATO, Y., MIYASAKI, Y., MURAMATSU, T., MATSUYAMA, Y. & HONJO, T. (2004). Hemolytic toxin of the dinoflagellate *Heterocapsa circularisquama* as a possible causative factor responsible for shellfish kill. *Harmful Algae*. 195-197.
- PAERL, H. W. (1982). Factors Limiting Productivity of Freshwater Ecosystems. In K. C. Marshall (Eds.), *Advances in Microbial Ecology* (pp. 75-110, Vol. 6). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-8318-9_3
- PAERL, H. W. & HUISMAN, J. (2009). Climate change: a catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms. *Environmental Microbiology Reports*, 1(1), 27-37. <https://doi.org/10.1111/j.1758-2229.2008.00004.x>
- SÁNCHEZ, S. & DELGADO, E. (1996). Mareas rojas en el área del Callao (12°S) 1980-1995. *Inf Prog Inst Mar Perú*, 44, 19 – 37. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/1231>
- SÁNCHEZ, S., DELGADO, E., BERNALES, A., JACOBO, N., FRANCO, A. & CORREA, D. (2021). Floraciones algales nocivas en la costa peruana durante El Niño Costero 2017 y su relación con las condiciones ambientales. *Bol Inst Mar Perú*. 36(2), 452-462. <https://doi.org/10.53554/boletin.v36i2.347>
- SMITH, V. H. (2021). The challenges of understanding and predicting cyanobacterial blooms. *Freshwater Science*, 40(2), 307-323.
- UTERMÖHL, H. (1958). Zur Vervollkommnung der Quantitativen Phytoplankton methodic. *Mitt. Int. Ver. Limnol.*, 9,1-38. <https://doi.org/10.1080/05384680.1958.11904091>
- WANG, S., WANG, W. & JIANG, X. (2012). The Process of algal bloom formation and the effects of wind - an enclosure experiment and in situ investigation in a large hyper-eutrophic shallow lake in China. *Advanced Materials Research*, 518-523, 4303-4314. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.518-523.4303>
- WU, X., LIU, Y., WENG, Y., LI, L. & LIN, S. (2022). Isolation, identification and toxicity of three strains of *Heterocapsa* (Dinophyceae) in a harmful event in Fujian, China. *Harmful Algae*, 120, 102355. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2022.102355>
- XU, L., YANG, D., GREENWOOD, J., FENG, X., GAO, G., QI, J., CUI, X. & YIN, B. (2020). Riverine and oceanic nutrients govern different algal bloom domain near the Changjiang Estuary in summer. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 125(10), e2020JG005727. <https://doi.org/10.1029/2020JG005727>