CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE LA BAHÍA DE HUARMEY, ÁNCASH, PERÚ, 2015-2019

ENVIRONMENTAL PROFILE OF HUARMEY BAY, ÁNCASH, PERU (2015-2019)

Víctor García-Nolazco[1] *Rita Orozco Moreyra*[2]

RESUMEN

García-Nolazco, V. & Orozco Moreyra, R. (2024). Caracterización ambiental de la bahía de Huarmey, Áncash, Perú, 2015-2019. Inf Inst Mar Perú, 51(3), 255-279.- En la bahía de Huarmey se desarrollan las actividades: industrial, pesquera artesanal y minera, por ello Imarpe realizó una caracterización física, química y biológica de las masas de agua que entran en la bahía y que luego, se mezclan con las aguas continentales y antropogénicas. El objetivo del estudio fue detectar la calidad del ambiente marino y costero de la bahía, para conocer el impacto del estado ambiental en el mar costero y evaluar los efectos de la contaminación en el ecosistema marino del 2015 al 2019. Esta bahía, se caracteriza por ser abierta, al centro se encuentra la isla Corcovado y al norte la isla Manache. Mayores profundidades se hallaron en el extremo sur y menores en el borde costero. En el ecosistema marino, se localizaron valores termohalinos de aguas costeras frías superficiales (acf) y aguas superficiales subtropicales (ASS) con ligeras influencias de las aguas continentales, descargas antropogénicas y variaciones locales del proceso de evaporación como producto de profundidades someras del área. El oxígeno disuelto superficial presentó, en la mayoría de estaciones, concentraciones menores a 4,00 mg/L asociadas al proceso de afloramiento costero, con valores de pH próximos a 8,00 unidades. En los últimos años se han observado mejores condiciones ambientales del ecosistema marino de la bahía, debido a la mínima actividad de la pesquería industrial reflejado en los bajos valores de los parámetros evaluados, que se encuentran por debajo de los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua (ECA).
Palabras clave: calidad ambiental, nutrientes, materia orgánica total

ABSTRACT

García-Nolazco, V. & Orozco Moreyra, R. (2024). Environmental profile of Huarmey Bay, Áncash, Peru (2015-2019). Inf Inst Mar Peru, 51(3), 255-279.- Huarmey Bay hosts a range of activities, including industrial, artisanal fisheries, and mining operations. Therefore, Imarpe conducted a physical, chemical, and biological assessment of the water masses entering the bay. These water masses subsequently mix with inland and anthropogenic waters. The study aimed to determine the quality of the marine and coastal environment of the bay, assess the impact of environmental conditions on the coastal sea, and evaluate the effects of pollution on the marine ecosystem from 2015 to 2019. The bay is noted for its openness, with Corcovado Island centrally located and Manache Island to the north. The deepest areas were found in the southern part, while shallower areas were along the coast. In the marine ecosystem, thermohaline values of cold coastal waters (ccw) and subtropical surface waters (SSW) were observed, with slight influences from inland waters, anthropogenic discharges, and local evaporation variations due to the area's shallow depths. Surface dissolved oxygen concentrations were generally below 4.00 mg/L, linked to the coastal upwelling process, with pH levels close to 8.00 units. In recent years, the bay's marine ecosystem has shown improved environmental conditions, mainly due to reduced industrial fishing activity, as indicated by the low values of the parameters evaluated, which are below the national environmental quality standards (EQS) for water.
Keywords: environmental quality, nutrients, total organic matter

1. INTRODUCCIÓN

En la bahía de Huarmey se localiza el muelle de la Compañía Minera Antamina, donde se realiza el embarque de minerales (cobre, cadmio y zinc) a través de un ducto que contiene una manga que va directamente del muelle a la bodega del barco, para evitar derrame del mineral hacia el mar y que impacte en el ecosistema marino de la bahía; esta actividad es la que sustenta, actualmente, la economía de la población de Huarmey; dado que, hace aproximadamente ocho años dejaron de funcionar las dos fábricas pesqueras orientadas a la producción de harina y aceite de pescado que evacuaban sus aguas residuales directamente al medio marino; por lo que, a través de los años trabajados han dejado un pasivo ambiental de restos orgánicos en el fondo marino de la bahía de Huarmey. La actividad minera unida al pasivo ambiental de

1 Instituto del Mar del Perú, Laboratorio Costero de Chimbote, Áncash, Perú. vgarcia@imarpe.gob.pe
2 Instituto del Mar del Perú, Sede Central, ritaoro@imarpe.gob.pe

la industria pesquera, más los vertimientos de aguas residuales domesticas o municipales y la escorrentía agrícola proveniente del río Huarmey y sembríos de zonas aledañas al mar, han provocado en el área costera condiciones inestables en la bahía de Huarmey.

En esta bahía, también se realiza la pesca artesanal; los pescadores artesanales en su faena de pesca capturan y extraen los recursos hidrobiológicos y antes de descargarlos lavan sus productos en el muelle y estas aguas son vertidas al medio marino, además algunos utilizan embarcaciones con motor fuera de borda y para ello se usan combustibles y aceites, los aditivos hidrocarbonados son envasados en empaques y estos también son arrojados al mar, así como los desperdicios orgánicos de sus alimentos que consumen.

El objetivo de esta publicación es describir y comparar la distribución espacial de los parámetros físicos, químicos y biológicos de la bahía de Huarmey analizados en función de las actividades desarrolladas en la zona costera y compararlos con la normatividad nacional vigente de los Estándares Nacionales de calidad Ambiental para Agua (ECA) para determinar si existen recuperaciones en la calidad del agua de la bahía.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la determinación de morfometría, se utilizaron las cartas náuticas de puertos de la Marina de Guerra del Perú, y para la obtención de coordenadas se utilizó un GPS de marca Garmin.

En los estudios batimétricos, se empleó una sonda portátil y un sistema de georreferenciación por satélite portátil, para lo cual se contó con el GPS marca Garmin.

La colecta de sedimento marino se efectuó con una draga van Veen cuya área de mordida es de 0,05 m^2.

Las determinaciones físico-químicas y microbiológicas se basaron en los siguientes métodos:

- Para oxígeno disuelto se siguió a Carritt y Carpenter (1966).
- Para nutrientes fue el método colorimétrico de Strickland y Parsons (1972)
- El pH se determinó utilizando el equipo portátil pH-metro de marca ORION.
- Para la determinación de materia orgánica total se siguió a Dean (1974).
- La temperatura superficial se registró con un termómetro de mercurio de balde y la de fondo con un termómetro de inversión Kahlsico.
- Método de inducción con el Portasal Guildline 8410A, para la determinación de salinidad.
- Se siguió a Rice *et al*. (2013) para: a) determinación de sólidos suspendidos (método gravimétrico 2540 D); b) aceites y grasas (método 5520B); c) demanda bioquímica de oxígeno (método 5-Day BOD Test 5210 B) y d) Número más probable con el método de tubos múltiples 9221 B.
- Las corrientes marinas se registraron con un equipo electrónico AANDERRA.
- En el laboratorio se obtuvieron los volúmenes de plancton por centrifugación a 2400 RPM durante 5 minutos y se empleó la siguiente fórmula:

$$V = \frac{Vc}{K}$$

Donde:

V = volumen de plancton

Vc = volumen de plancton centrifugado (mL)

K = 6,6273 m^3, constante que indica el agua filtrada por la red

Los resultados finales son expresados en mililitros de plancton por metro cúbico de agua de mar filtrada (mL/m^3).

Las muestras fueron analizadas cuantitativamente considerando la proporción de los principales grupos del plancton, así como de las especies más abundantes y se les otorgó valores convencionales según metodología estandarizada para fitoplancton: Ausente: 0; presente: 1; escaso: 2; abundante: y muy abundante: 4

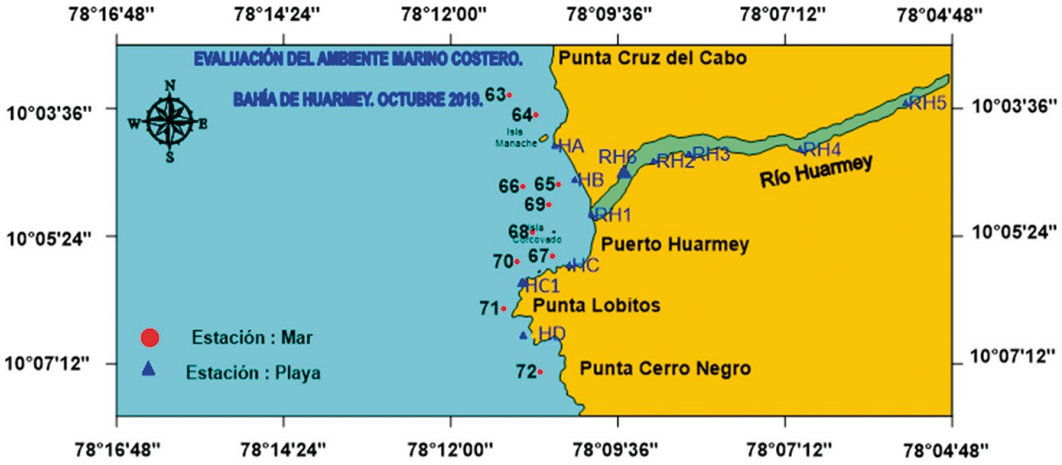

Figura 1.- Estaciones de muestreo en la bahía de Huarmey

3. RESULTADOS

Morfometría

La bahía de Huarmey, presenta geomorfología de configuración semiabierta, con presencia de arena fina; en los extremos norte y sur se sitúan cordones litorales de piedra que dan lugar a los acantilados. Por el centro de la bahía, se encuentra la isla Corcovado, mientras que en el borde costero descarga sus aguas el río Huarmey; al norte se localiza a la isla Manache (Tabla 1, Fig. 1).

Tabla 1.- Coordenadas de muestreo, bahía de Huarmey, Áncash, Perú, 2015-20

Estación Nº	Localidad geográfica	Profundidad (m)
	Bahía de Huarmey	
1	10°3′25,9″S - 78°11′9,5″W	40,2
2	10°3′45,4″S - 78°10′46,8″W	21,2
3	10°4′38,2″S – 78°10′28,3″W	13,0
4	10°4′42,3″S – 78°10′58,7″W	26,0
5	10°5′43,9″S – 78°10′31,2″W	9,1
6	10°5′21,5″S – 78°10′50,7″W	22,2
7	10°4′59,5″S – 78°10′35,8″W	17,0
8	10°5′47,0″S – 78°11′4,0″W	39,2
9	10°6′24,8″S – 78°11′13,0″W	42,5
10	10°7′12,8″S – 78°10′44,2″W	31,7
	Playas en bahía de Huarmey	
HA	10°4′7,6″S – 78°10′29,8″W	0
HB	10°4′36,2″S – 78°10′12,6″W	0
HC	10°5′48,8″S – 78°10′18,3″W	0
HC1	10°5′57,1″S – 78°10′32,6″W	0
HD	10°5′55,4″S – 78°10′47,2″W	0
	Río Huarmey	
RH1	10°5′5,2″S – 78°9′57,1″W	0
RH6	10°4′31,4″S – 78°9′42,1″W	0
RH2	10°4′20,9″S – 78°9′4,8″W	0
RH3	10°4′15,3″S – 78°8′35,0″W	0
RH4	10°4′13,0″S – 78°6′58,8″W	0
RH5	10°3′32,1″S – 78°5′28,2″W	0

Batimetría

Las mayores profundidades se localizaron por la zona central del frente oceánico y por el borde costero sur, muy cerca a los acantilados, con isobatas de 30 a 45 m; en tanto que, desde isla Corcovado hacia el borde costero de la bahía se localizaron profundidades menores a 15 m (Fig. 2).

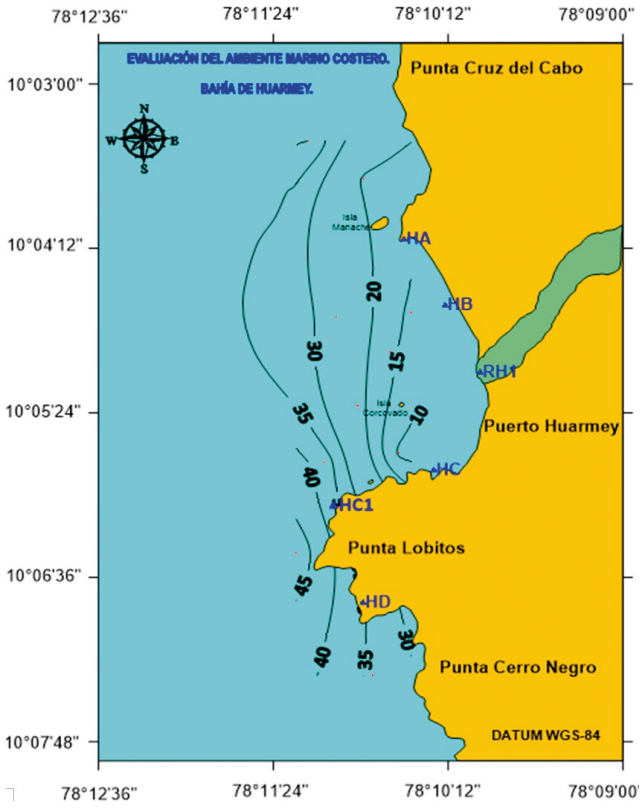

Figura 2.- Distribución batimétrica de la bahía de Huarmey

Aspectos oceanográficos

Circulación marina. La velocidad y dirección superficial de las corrientes marinas, en promedio, presentaron intensidades de flujo de 8,05 cm/s (noviembre 2016) a 21,82 cm/s (abril 2015); a 15 m de la superficie las velocidades variaron de 7,02 cm/s (noviembre 2018) a 27,05 cm/s (abril 2015) y a nivel del fondo fueron de 5,85 cm/s (noviembre 2018) a 28,47 cm/s (abril 2015) (Tabla 2). En la bahía, tanto en superficie como en fondo, las masas de agua se desplazan de norte a sur y del frente oceánico hacia el borde costero, en el 2017 se desplazó del frente oceánico hacia el borde costero siguiendo la línea de costa.

Características físicas

Temperatura (°C). Las masas de agua ingresaron a la bahía desde el frente oceánico central y en su desplazamiento hacia el borde costero de la bahía, se incrementó la temperatura gradualmente, al igual que de sur a norte. En superficie se registraron valores de 14,9 °C (diciembre 2017) a 17,9 °C (abril-mayo 2016). En fondo, los registros térmicos variaron de 14,1 °C (diciembre 2017) a 17,0 °C (abril-mayo 2016). A 15 m de profundidad los registros térmicos variaron de 14,5 °C (diciembre 2017) a 17,4 °C (abril-mayo 2016) (Tabla 2).

Salinidad. En superficie el desplazamiento de las masas de agua desde el frente oceánico central hasta muy cerca del borde costero, así como del sur de la bahía hacia el norte, incrementó la concentración halina, que en promedio varió de 34,906 (noviembre 2016) a 35,172 (abril-mayo 2016). En fondo, presentó concentraciones de 34,957 (octubre 2019) a 35,150 (abril-mayo 2016). A 15 m de profundidad varió de 34,962 (octubre 2019) a 35,158 (noviembre 2015) (Tabla 2).

Transparencia (m). La visibilidad varió de 4,4 m (abril 2015) a 9,6 m (noviembre 2016). Mayor visibilidad se registró por el frente oceánico central; mientras que, menores visibilidades se encontraron por el borde costero de la bahía (Tabla 2).

Características químicas

Oxígeno disuelto (mg/L). Se observó incremento de la concentración de oxígeno de sur a norte de la bahía. En superficie varió de 1,71 mg/L (noviembre 2015) a 5,59 mg/L (abril-mayo 2016). En fondo, las concentraciones mostraron valores hipóxicos, que fueron de 0,60 mg/L (noviembre 2015) a 1,83 mg/L (abril-mayo 2016), observándose, por el centro de la bahía, núcleos de concentración de oxígeno de 1,00 a 2,50 mg/L. A 15 m de profundidad las concentraciones promedio fluctuaron entre 0,82 mg/L (noviembre del 2015) y 3,48 mg/L (abril-mayo 2016) (Tabla 3).

Tabla 2.- Parámetros físicos promedio en la bahía de Huarmey, Áncash, Perú, 2015-2019

Año	Mes	Nivel s= superficie i = intermedio (15 m) f= fondo	Transparencia (m)	Temperatura (°C)	Salinidad	Corrientes marinas	
						(cm/s)	(°)
2015	Abr.	s	4,4	17,7	35,000	21,82	175
		i		17,1	35,058	27,05	171
		f		16,7	35,060	28,47	179
	Nov.	s	4,9	16,7	35,155	8,93	93
		i		16,6	35,158	9,39	136
		f		15,5	35,150	7,74	150
2016	Abr-May.	s	5,7	17,9	35,172	13,91	42
		i		17,4	35,149	8,51	204
		f		17,0	35,150	9,75	174
	Nov.	s	9,6	16,0	34,906	8,05	124
		i		15,3	34,994	12,62	180
		f		15,0	34,984	8,78	159
2017	Dic.	s	5,8	14,9	35,006	10,78	91
		i		14,5	34,983	8,57	170
		f		14,1	35,005	7,62	140
2018	Nov.	s	6,1	15,9	34,992	12,51	43
		i		15,5	34,986	7,02	196
		f		15,3	34,968	5,85	132
2019	Oct.	s	6,5	15,1	34,968	11,14	121
		i		14,7	34,962	12,66	200
		f		14,4	34,957	6,40	197

Tabla 3.- Parámetros químicos promedio en la bahía de Huarmey, Áncash, Perú, 2015-2019

Año	Mes	Nivel s= superficie i = intermedio (15 m) f= fondo	pH		Oxígeno (mg/L)	Fosfatos (µM)	Silicatos (µM)	Nitratos (µM)	Nitritos (µM)	Clorofila-*a* (µg/L)	Feopigmentos (µg/L)
			min	max							
2015	Abr.	s	8,58	8,68	3,11	2,66	20,54	8,96	1,92	0,34	0,32
		i	---	---	1,90	2,62	20,76	9,46	1,79	---	---
		f	8,53	8,66	1,01	2,88	21,69	9,61	1,77	0,36	0,36
	Nov.	s	8,42	8,70	1,71	3,38	21,09	23,56	0,74	0,17	0,13
		i	---	---	0,82	3,42	22,26	25,26	0,43	---	---
		f	8,41	8,85	0,60	3,18	22,82	22,35	0,37	0,13	0,31
2016	Abr-May.	s	8,51	8,84	5,59	---	---	---	---	0,34	1,70
		i	---	---	3,48	---	---	---	---	---	---
		f	8,11	8,48	1,83	---	---	---	---	0,28	1,64
	Nov.	s	7,92	8,32	4,06	2,44	12,74	14,50	1,34	0,24	0,08
		i	---	---	2,22	2,54	13,03	14,88	1,24	---	---
		f	7,86	8,30	1,65	2,62	13,21	14,32	1,59	0,74	0,09
2017	Dic.	s	7,49	8,17	2,68	3,03	20,86	9,46	3,62	0,14	0,14
		i	---	---	0,98	2,85	21,76	9,21	3,79	---	---
		f	7,47	8,15	0,78	3,24	24,88	6,84	5,02	0,13	0,26
2018	Nov.	s	8,45	8,73	1,86	3,60	19,51	6,99	5,71	1,63	0,84
		i	---	---	0,89	3,07	17,13	6,74	5,54	---	---
		f	8,40	8,66	0,91	3,65	20,42	5,98	5,66	1,52	0,65
2019	Oct.	s	7,80	8,10	3,83	3,36	23,09	18,96	1,12	1,13	1,77
		i	---	---	1,72	3,57	21,49	19,16	1,01	---	---
		f	7,71	7,89	1,33	3,11	22,40	18,25	1,09	0,76	1,70

pH. En superficie varió de 7,49 unidad (diciembre 2017) a 8,84 unidad (abril-mayo 2016). La concentración fue mayor a 8,00 unidades en varios años, a excepción del 2017 y 2019 cuando fueron menores a 7,95 unidades en algunas estaciones del sur de la bahía. En fondo varió de 7,49 unidades (diciembre 2017) a 8,85 unidades (noviembre 2015) (Tabla 3).

Fosfatos (µM). Se observó incremento de la concentración desde el frente oceánico central hacia el borde costero, a excepción de noviembre 2016 y 2018. Mayor concentración, se determinó en el 2015 y 2016 desde el frente oceánico central hacia el interior de la bahía, disminuyendo de sur a norte del 2017 al 2019. En superficie varió de 2,44 µM (noviembre 2016) a 3,60 µM (diciembre 2017); mientras que, en fondo fue de 2,62 µM (noviembre 2016) a 3,65 µM (noviembre 2018). A 15 m de profundidad varió de 2,54 µM (noviembre 2016) a 3,57 µM (octubre 2019) (Tabla 3).

Silicatos (µM). Se observó incremento en la concentración de sur a norte, a excepción de los años 2017 y 2019, cuando aminoró. En superficie varió de 12,74 µM (noviembre 2016) a 23,09 µM (octubre 2019). En fondo fluctuaron entre 13,21 µM (noviembre 2016) y 24,88 µM (diciembre 2017), en este nivel, generalmente, la distribución de silicatos se incrementa desde el frente oceánico central hacia las zonas sur y norte y muy cerca del borde costero de la bahía. A 15 m de profundidad la concentración fue de 13,03 µM (noviembre 2016) a 22,26 µM (noviembre 2015) (Tabla 3).

Nitratos (µM). Las concentraciones se incrementan desde el frente oceánico hacia el interior de la bahía y también de sur a norte. A nivel superficial, en promedio fluctuaron entre 6,99 µM (noviembre 2018) y 23,56 µM (noviembre 2015). En fondo, variaron de 5,98 µM (noviembre 2018) a 22,35 µM (noviembre 2018). En ese nivel, la concentración disminuyó del frente oceánico hacia el interior de la bahía en abril 2015 y octubre 2019; mientras que, en los demás años se incrementó hacia el borde costero. A 15 m de profundidad los nitratos fueron de 3,74 µM (noviembre 2018) a 25,26 µM (noviembre 2015) (Tabla 3).

Nitritos (µM). En superficie fluctuaron entre 0,74 µM (noviembre 2015) y 5,71 µM (noviembre 2018). En los años 2016, 2018 y 2019 la concentración disminuyó desde el frente oceánico hacia el interior de la bahía; en tanto que, en los otros años evaluados se incrementó hacia el borde costero. En fondo varió de 0,37 µM (noviembre 2015) a 5,66 µM (noviembre 2018). En ese nivel la concentración se incrementó desde el frente oceánico hacia el interior de la bahía, a excepción del 2019, cuando disminuyó por el borde costero. A 15 m de profundidad las concentraciones fueron de 0,43 µM (noviembre 2015) a 5,54 µM (noviembre 2018) (Tabla 3).

Clorofila-a (µg/L). En superficie, se observó que, en abril 2015, abril-mayo y noviembre 2016, disminuyó la concentración desde el frente oceánico hacia el interior de la bahía; en tanto que, en los otros años evaluados se incrementó hacia el borde costero, en promedio fluctuó entre 0,14 µg/L (diciembre 2017) y 1,63 µg/L (noviembre 2018). En fondo, la concentración se incrementó desde el frente oceánico central hasta el interior de la bahía y cerca del borde costero, a excepción de abril 2015 y noviembre 2016 y 2018, cuando disminuyó; en general, varió de 0,13 µg/L (noviembre 2015) a 15,52 µg/L (noviembre 2018) (Tabla 3).

Feopigmentos (µg/L). Superficialmente, las concentraciones se incrementaron el 2018 y 2019 desde el frente oceánico hacia el interior de la bahía; en tanto que, en los otros años disminuyó; en promedio fluctuó de 0,08 µg/L (noviembre 2016) a 1,77 µg/L (octubre 2019). En fondo, los feopigmentos variaron de 0,09 µg/L (noviembre 2016) a 1,70 µg/L (octubre 2019); en abril 2015 y 2016 disminuyó la concentración desde el frente oceánico hacia el borde costero, a diferencia de los otros años cuando se incrementó (Tabla 3).

Características biológicas

Fitoplancton

El volumen superficial promedio de fitoplancton varió de 0,05 mL/m^3 (abril 2015) a 7,15 mL/m^3 (diciembre 2017) (Tabla 4), incrementando su valor desde el frente oceánico hacia el interior de la bahía, muy cerca del borde costero.

Entre las diatomeas, destacaron especies típicas de afloramiento como *Chaetoceros compresus, Ch. lorenzianus, Coscinodiscus centralis, C. perforatus* y *Thalassionema nitzschioideis*. Se identificaron dinoflagelados como *Ceratium furca, Protoperidinium depressum, P. excentricum, P. mendiolae* y *P. pentagonum*. También, dentro de la bahía, se identificó a *P. oceanicum* y *P. obtusum* que son indicadores de aguas cálidas y aguas costeras frías (acf), respectivamente.

Características sedimentológicas

Materia Orgánica Total (MOT). Las concentraciones variaron de 2,6% (abril-mayo 2016) a 3,8% (noviembre 2018) (Tabla 5), disminuyendo de sur a norte y muy cerca del borde costero. En la bahía predominó textura de fango con arena fina y sin olor a sulfuro de hidrógeno.

Tabla 4.- Volumen superficial promedio de fitoplancton, bahía de Huarmey, Áncash, Perú. 2015-2019

Año	Mes	Volumen de plancton marino (mL/m^3)
2015	Abr.	0,05
	Nov.	0,31
2016	Abr. –May.	5,44
	Nov.	0,33
2017	Dic.	7,15
2018	Nov.	0,15
2019	Oct.	0,28

Tabla 5.- Materia orgánica total (MOT) promedio, bahía de Huarmey, Áncash, Perú. 2015-2019

Año	Mes	Materia orgánica total (%)
2015	Abr.	3,3
	Nov.	3,0
2016	Abr. –May.	2,6
	Nov.	3,0
2017	Dic.	2,9
2018	Nov.	3,8
2019	Oct.	3,4

Características de la calidad microbiológica

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO). En superficie varió de 1,00 mg/L (noviembre 2015, mayo y noviembre 2016) a 8,54 mg/L (diciembre 2017) (Tabla 6). En mayor parte del área evaluada predominaron concentraciones menores a 6,00 mg/L (Fig. 3).

Coliformes totales (NMP/100 mL). Las concentraciones variaron de <1,80 NMP/100 mL a 330 NMP/100 mL (octubre 2019) (Tabla 7), predominando concentraciones menores a 50 NMP/100 mL en la mayor parte del área evaluada (Fig. 4). La concentración de **coliformes termotolerantes** varió de <1,80 NMP/100 mL (abril 2015, abril-mayo y noviembre 2016, noviembre 2018 y octubre 2019) a 11 NMP/100 mL (octubre 2019) (Tabla 8), predominando concentraciones menores a 10 NMP/100 mL en la mayor parte del área evaluada (Fig. 5).

Características de indicadores de contaminación

Sólidos suspendidos totales. En superficie variaron de 7,50 mg/L (diciembre 2017) a 64,00 mg/L (noviembre 2015) y en fondo de 7,50 mg/L (noviembre 2018) a 63,50 mg/L (noviembre 2015 y octubre 2019) (Tabla 9). Se observó en las evaluaciones algunos valores puntuales > a 60,00 mg/L tanto en superficie como en fondo (Figs. 6, 7).

Aceites y grasa. Los aceites y grasa superficiales variaron de 0,10 mg/L (noviembre 2016 y 2018) a 1,40 mg/L (diciembre 2017) (Tabla 10). En algunas estaciones se encontraron concentraciones mayores a 1,00 mg/L (Fig. 8).

Tabla 6.- Demanda bioquímica de oxígeno promedio (mg/L), bahía de Huarmey, Áncash, Perú. 2015-2019

Año	Mes	DBO (mg/L)/ estaciones							
		1	2	3	4	5	6	7	8
2015	Abr.	1,72	2,37	1,80	1,80	2,70	2,78	2,12	5,21
	Nov.	2,61	2,53	1,88	1,55	1,00	1,00	2,04	7,50
2016	Abr. –May.	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	3,19
	Nov.	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2017	Dic.	6,93	8,54	8,05	7,23	4,62	6,58	7,07	6,58
2018	Nov.	4,16	4,56	6,03	4,81	3,59	5,38	3,10	3,91
2019	Oct.	5,71	7,01	6,85	6,36	5,30	5,22	4,32	5,87

Tabla 7.- Coliformes totales (NMP/100 mL) bahía de Huarmey, Áncash, Perú. 2015-2019

Año	Mes	Coliformes totales (NMP/100 mL)/ estaciones							
		1	2	3	4	5	6	7	8
2015	Abr.	<1,80	<1,80	7,80	<1,80	<1,80	<1,80	4,50	<1,80
	Nov.	1,80	1,80	1,80	1,80	130,0	4,00	1,80	1,80
2016	Abr. – May.		<1,80	79,00	<1,80	<1,80	<1,80	49,00	49,00
	Nov.	<1,80	<1,80	<1,80	<1,80	<1,80	<1,80	<1,80	<1,80
2017	Dic.	1,80	20,00	20,00	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
2018	Nov.	<1,80	33,00	49,00	<1,80	33,00	33,00	<1,80	33,00
2019	Oct.	330,00	9,30	79,00	79,00	<1,80	<1,80	23,00	<1,80

Tabla 8.- Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) bahía de Huarmey, Áncash, Perú. 2015-2019

Año	Mes	Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)/estaciones							
		1	2	3	4	5	6	7	8
2015	Abr.	<1,80	<1,80	7,80	<1,80	<1,80	<1,80	<1,80	<1,80
	Nov.	1,80	1,80	1,80	1,80	180,0	1,80	1,80	1,80
2016	Abr. – May.		<1,80	<1,80	<1,80	<1,80	<1,80	<1,80	<1,80
	Nov.	<1,80	<1,80	<1,80	<1,80	<1,80	<1,80	<1,80	<1,80
2017	Dic.	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
2018	Nov.	<1,80	<1,80	<1,80	<1,80	<1,80	33,00	<1,80	<1,80
2019	Oct.	<1,80	<1,80	11,00	4,00	<1,80	<1,80	4,50	<1,80

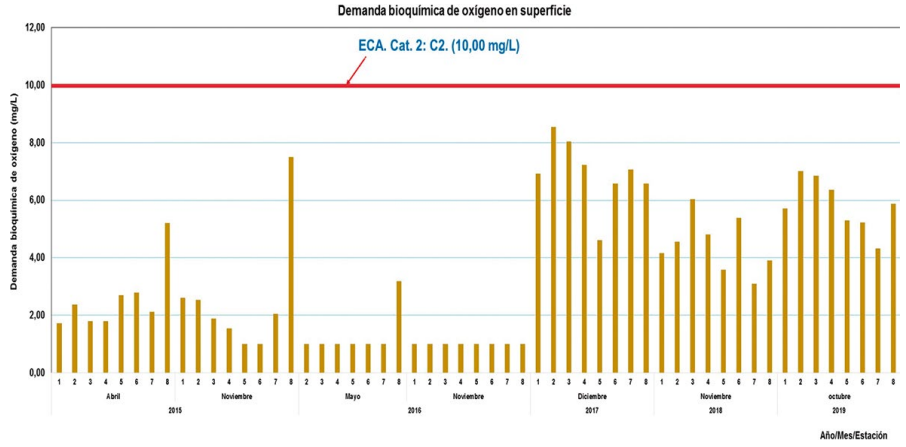

Figura 3.- Distribución de la demanda bioquímica de oxígeno (mg/L), bahía de Huarmey. 2015-2019

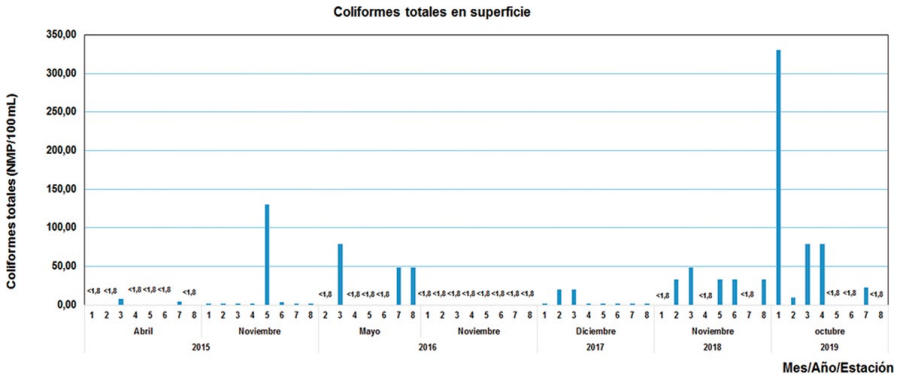

Figura 4.- Distribución de coliformes totales (NMP/100 mL), bahía de Huarmey. 2015-2019

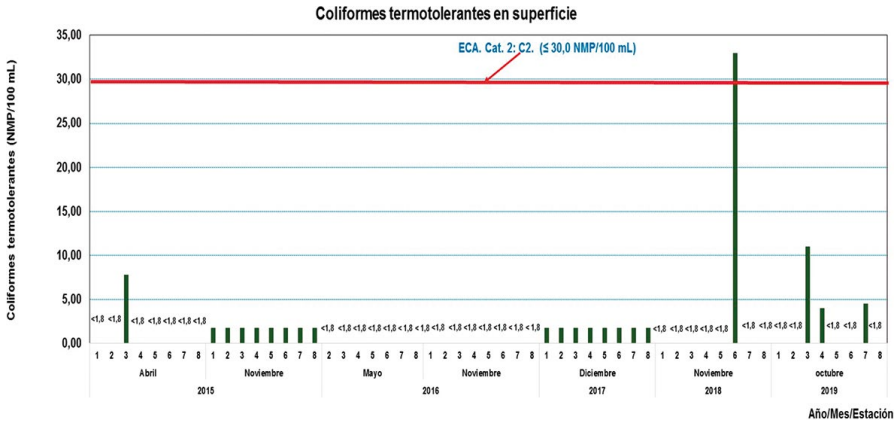

Figura 5.- Distribución de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL), bahía de Huarmey. 2015-2019

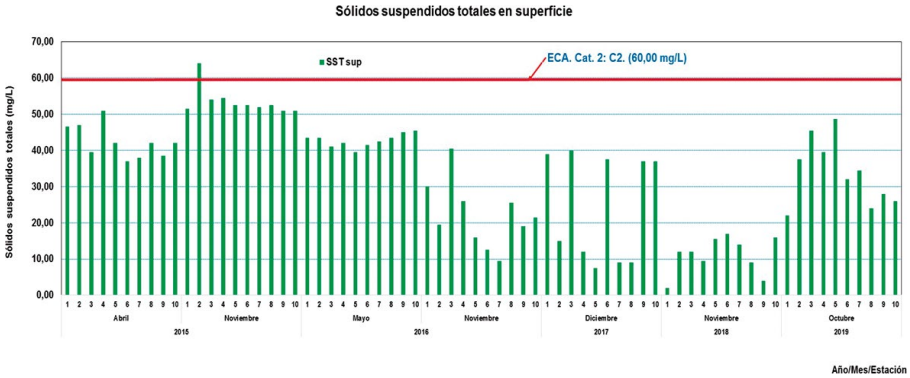

Figura 6.- Distribución de sólidos suspendidos totales (mg/L) en superficie, bahía de Huarmey. 2015-2019

Figura 7.- Distribución de sólidos suspendidos totales (mg/L) en fondo, bahía de Huarmey. 2015-2019

Tabla 9.- Sólidos suspendidos totales (mg/L), bahía de Huarmey, Áncash, Perú. 2015-2019

Año	Mes	Sólidos suspendidos totales/ estación (mg/L)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2015	Abr. (s)	46,5	47,0	39,5	51,0	42,0	37,0	38,0	42,0	38,5	42,0
	Abr. (f)	51,0	52,0	47,0	50,0	53,0	48,0	48,0	40,0	41,0	51,0
	Nov.(s)	51,5	64,0	54,0	54,5	52,5	52,5	52,0	52,5	51,0	51,0
	Nov.(f)	56,0	54,5	56,5	56,5	60,0	55,0	---	63,0	56,5	63,5
2016	A–M.(s)	43,5	43,5	41,0	42,0	39,5	41,5	42,5	43,5	45,0	45,5
	A-M.(f)	38,0	37,0	41,0	40,5	41,5	42,5	44,5	---	40,0	42,0
	Nov.(s)	30,0	19,5	40,5	26,0	16,0	12,5	9,50	25,5	19,0	21,5
	Nov.(f)	19,0	19,0	24,5	22,0	15,5	14,0	16,5	17,0	20,2	23,5
2017	Dic.(s)	39,0	15,0	40,0	12,0	7,50	37,5	9,00	9,00	37,0	37,0
	Dic.(f)	37,0	38,0	38,0	39,5	39,0	37,5	9,00	33,0	37,5	38,5
2018	Nov.(s)	2,00	12,0	12,0	9,50	15,5	17,0	14,0	9,00	4,00	16,0
	Nov.(f)	13,5	11,0	22,0	16,0	7,50	14,0	14,0	17,0	44,0	8,50
2019	Oct.(s)	22,0	37,5	45,5	39,5	48,7	32,0	32,0	24,0	28,0	26,0
	Oct.(f)	23,5	22,5	19,0	22,0	25,0	25,0	25,0	63,5	26,0	26,0

Tabla 10.- Parámetros de indicadores de contaminación de aceites y grasa y sulfuro de hidrógeno, bahía de Huarmey, Ancash, Perú, 2015-2019

Año	Mes	Est.	1	2	3	4	5	6	7	8
2015	Abr. (s)	A+g*		0,31	0,40	0,30	0,40	0,40	0,52	0,50
	Abr. (f)	H_2S		ND	ND	ND	0,0054	ND	0,0294	ND
	Nov.(s)	A+g*		0,52	0,40	0,60	0,50	0,50	0,80	0,10
	Nov.(f)	H_2S		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2016	Ab–My.(s)	A+g*			0,5000	0,4000	0,6000	0,5000	0,9300	0,3000
	Ab-My. (f)	H_2S			< 0,01	< 0,01	<0,01	<0,01	---	<0,01
	Nov.(s)	A+g*			0,10	0,10	0,41	0,21	0,51	0,41
	Nov.(f)	H_2S			<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
2017	Dic.(s)	A+g*	0,70	0,40	0,60	0,80	0,80	1,40	1,20	1,20
	Dic.(f)	H_2S		<0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
2018	Nov.(s)	A+g*		0,10		0,90	0,20	0,10	0,30	0,20
	Nov.(f)	H_2S		<0,0100		0,0068	<0,0100	<0,0100	<0,0100	<0,0100
2019	Oct.(s)	A+g*		0,20	1,00	1,10	1,00	0,80	0,60	0,20
	Oct.(f)	H_2S		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

ND No detectado por el equipo
A+g= Aceites más grasa

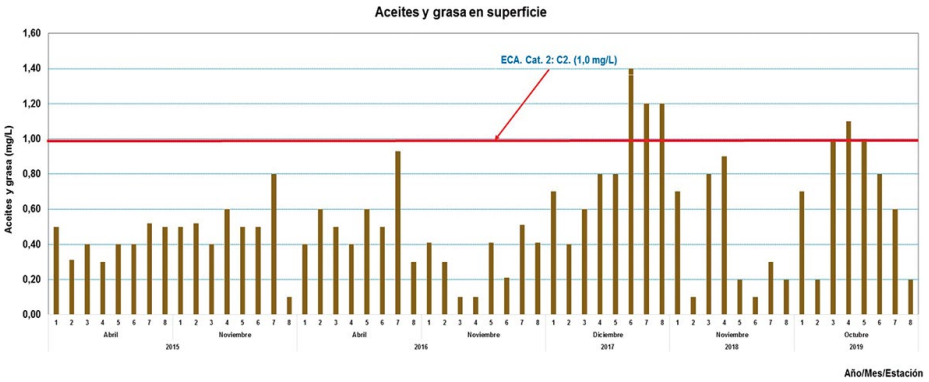

Figura 8.- Distribución de aceites y grasa (mg/L) en superficie, bahía de Huarmey, 2015-2019

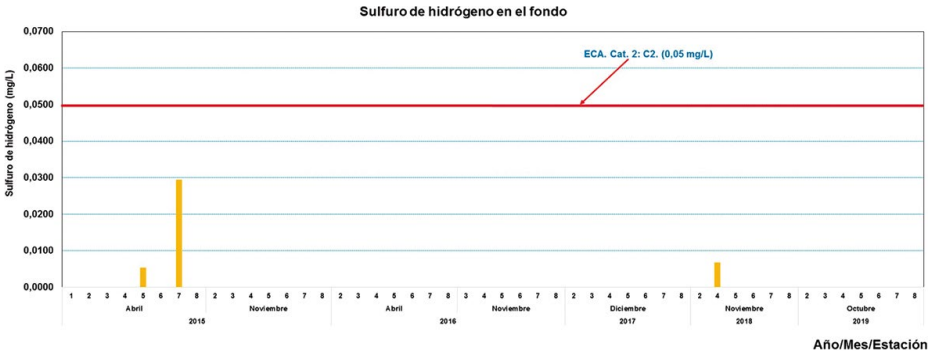

Figura 9.- Distribución de sulfuro de hidrógeno (mg/L) en fondo, bahía de Huarmey, 2015-2019

Tabla 11.- Parámetros físicos, químicos y sedimentológicos promedio por línea de playa, bahía de Huarmey, 2015-2019

Año	Mes	Nivel s = superficie	Temperatura (°C)	Salinidad (ups)	pH (unidad) Mínimo	pH (unidad) Máximo	Oxígeno disuelto (mg/L)	Fosfatos (µM)	Silicatos (µM)	Nitratos (µM)	Nitritos (µM)	Clorofila "a" µg/L	Feopigmentos µg/L	Materia orgánica orgánica total (%)
2015	Abril	s	17,5	34,971	8,50	8,71	5,74	2,66	18,62	9,18	0,98	0,29	0,38	1,06
	Noviembre	s	17,7	35,172	8,76	8,90	6,29	3,75	19,15	4,11	12,21	0,13	0,24	1,36
2016	Abril-Mayo	s	17,9	35,118	8,56	8,80	6,99	…	…	…	…	0,25	0,28	1,06
	Noviembre	s	16,4	35,013	8,08	8,18	7,21	2,34	2,75	5,20	1,80	2,97	0,21	1,63
2017	Diciembre	s	15,3	34,876	8,39	8,63	7,02	4,03	25,73	3,88	4,55	0,12	0,20	1,10
2018	Noviembre	s	19,1	34,985	8,32	8,55	6,02	3,26	7,31	13,41	3,56	1,48	1,76	0,89
2019	Octubre	s	14,9	35,146	7,50	8,57	9,76	3,21	14,71	7,15	4,62	1,00	0,50	1,62

Sulfuro de hidrógeno (H_2S). En fondo fluctuaron entre <0,0100 mg/L (abril-mayo y noviembre 2016, diciembre 2017, noviembre 2018 y octubre 2019) y 0,0294 mg/L (abril 2015) (Tabla 10). En todas las evaluaciones se encontraron concentraciones menores a 0,0500 mg/L y en algunos casos las muestras no fueron detectadas por la sensibilidad del equipo (Fig. 9).

Características físicas, químicas y biológicas por línea de playa

Temperatura (°C). Por las líneas de playa, el promedio varió de 14,9 °C (octubre, 2019) a 19,1 °C (noviembre, 2018). Los valores térmicos mayores a 15,0 °C se encontraron en abril y noviembre 2015, abril-mayo y noviembre 2016 y noviembre 2018 (Tabla 11).

Salinidad. En promedio presentó concentraciones de 34,876 (diciembre, 2017) a 35,172 (noviembre 2015). Concentraciones >35,000 se detectaron en abril y noviembre 2015, abril-mayo y noviembre 2016 y las menores se determinaron en diciembre 2017, noviembre 2018 y octubre 2019 (Tabla 11).

Oxígeno disuelto (mg/L). Los promedios fluctuaron entre 5,74 mg/L (abril 2015) y 9,76 mg/L (octubre 2019). En las estaciones evaluadas las concentraciones fueron mayores a 5,50 mg/L, los valores determinados están dentro de la variabilidad normal del medio marino (Tabla 11, Fig. 10).

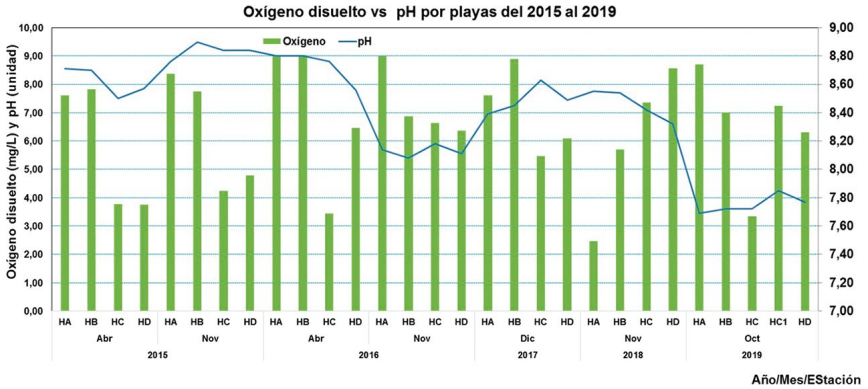

Figura 10.- Distribución de oxígeno (mg/L) vs pH por playas, bahía de Huarmey 2015-2019

Los valores mínimos de **pH,** variaron de 7,50 (octubre 2019) a 8,76 unidades (noviembre 2015) y los máximos presentaron concentraciones de 8,18 (noviembre 2016) y 8,90 unidades (noviembre 2016). Las concentraciones >8,00 unidades estuvieron influenciadas por la variabilidad climática que ocurre en áreas someras del borde costero (Tabla 11, Fig. 10).

Fosfatos (µM). Los promedios registrados fueron de 2,34 µM (noviembre 2016) a 4,03 µM (diciembre 2017). Se presentaron valores mayores a 3,00 µM en algunas estaciones evaluadas en noviembre 2015 y 2018, diciembre 2017 y octubre 2019; en tanto que, en el resto de estaciones fueron menores a 3,00 µM (Tabla 11, Fig. 11).

Silicatos (µM). Los promedios fluctuaron entre 2,75 µM (noviembre 2016) y 25,73 µM (diciembre 2017). Las concentraciones >20,00 µM se presentaron en abril y noviembre 2015 así como en diciembre 2017; en tanto que, en las otras estaciones evaluadas fueron menores a 20,00 µM (Tabla 11, Fig. 12).

Nitratos (µM). Las concentraciones de nitratos variaron de 3,88 µM (diciembre 2017) a 13,41 µM (noviembre 2018); las mayores a 15,00 µM, se encontraron en noviembre 2015 y octubre 2019; en tanto que, en el resto de estaciones evaluadas fueron menores a 10,00 µM (Tabla 11, Fig. 13).

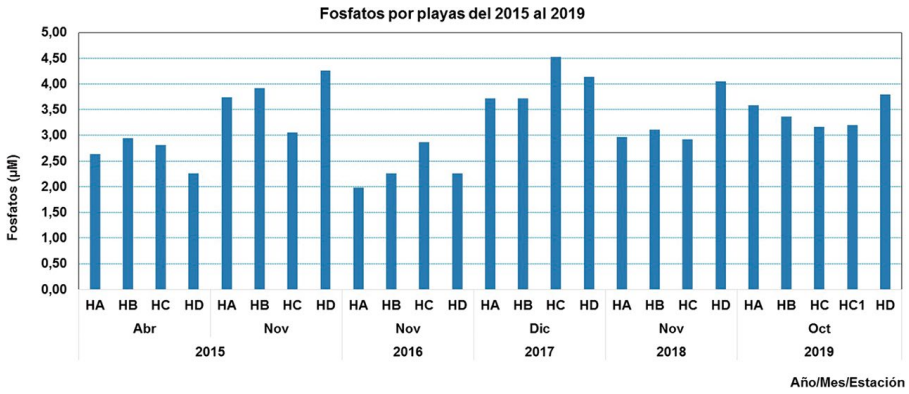

Figura 11.- Distribución de fosfatos (µM) por playas, bahía de Huarmey, 2015-2019

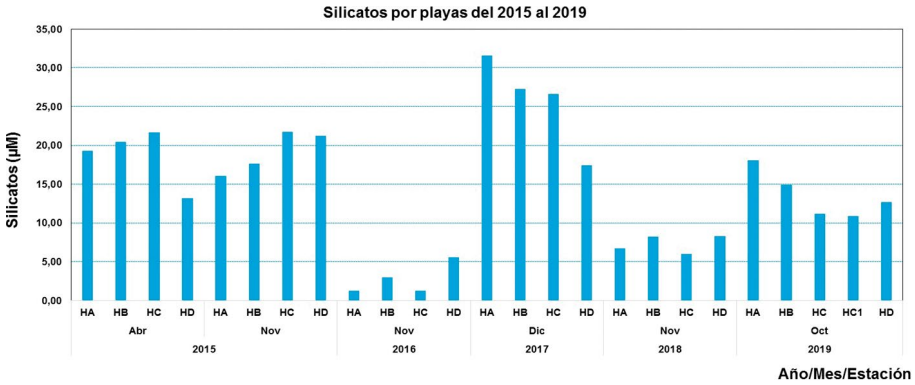

Figura 12.- Distribución de silicatos (µM) por playas, bahía de Huarmey. 2015-2019

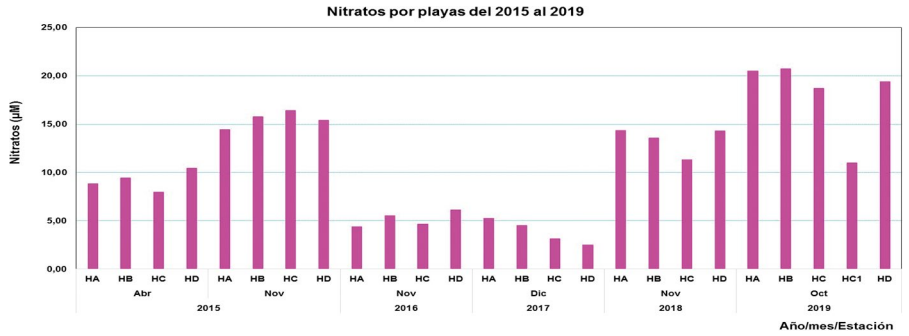

Figura 13.- Distribución de nitratos (µM) por playas, bahía de Huarmey, 2015-2019

Nitritos (µM). El promedio de concentraciones fluctuó entre 0,98 µM (abril 2015) y 12,21 µM (noviembre 2015). Las concentraciones más altas se presentaron en diciembre 2017 y noviembre 2018 (Tabla 11, Fig. 14).

Clorofila-a (µg/L). La concentración promedio varió de 0,12 µg/L (diciembre 2017) a 2,97 µM (noviembre 2016). La distribución en términos de biomasa fitoplanctónica presentó las concentraciones más altas en noviembre 2016 y octubre 2019; en tanto que, en el resto de las evaluaciones, predominaron concentraciones menores a 2,00 µg/L (Tabla 11, Fig. 15).

Feopigmentos (µg/L). Los promedios fluctuaron entre 0,20 µg/L (diciembre 2017) y 1,76 µM (noviembre 2018). Las concentraciones más altas se encontraron en diciembre 2018 y octubre 2019, en el resto de las estaciones evaluadas fueron menores a 1,00 µg/L (Tabla 11, Fig. 16).

Materia Orgánica Total (MOT, %). En el sedimento varió de 0,28% (abril-mayo 2016) a 1,63% (noviembre 2016). Las concentraciones mayores a 1,50% fueron localizadas en la estación HA y HB en noviembre 2016 y 2018 respectivamente, y en HA en octubre 2019 a 1,00% (Tabla 11, Fig. 17).

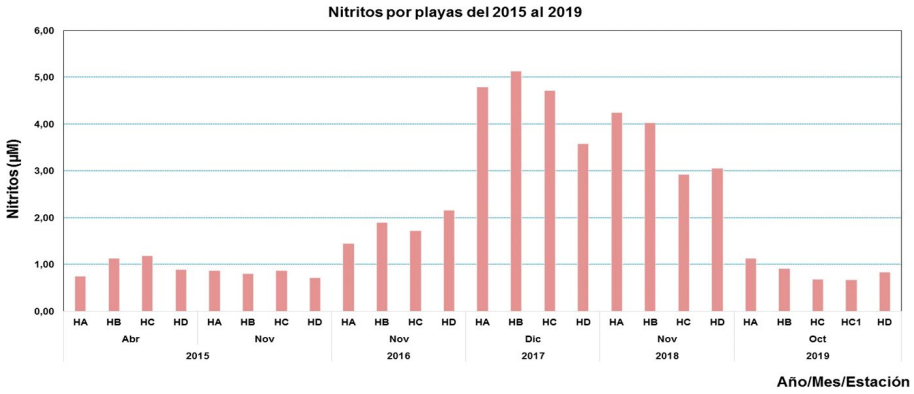

Figura 14.- Distribución de nitritos (µM) por playas, bahía de Huarmey, 2015-2019

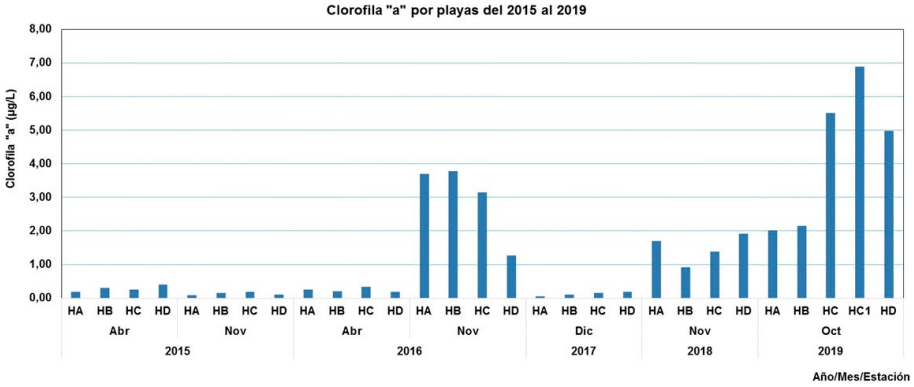

Figura 15.- Distribución de clorofila-a (µg/L) por playas, bahía de Huarmey. 2015-2019

Figura 16.- Distribución de feopigmentos (µg/L) por playas, bahía de Huarmey, 2015-2019

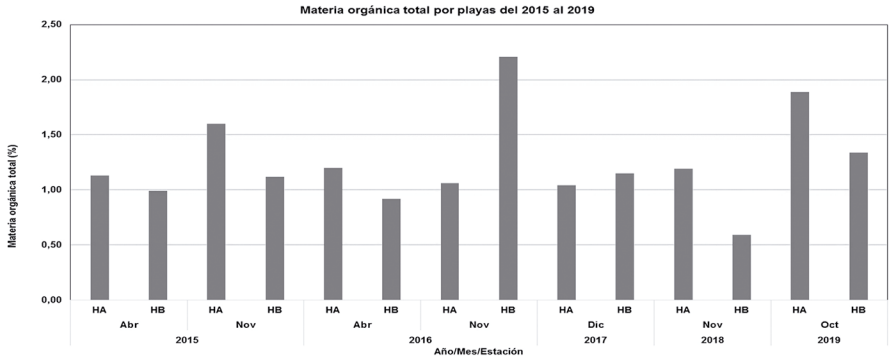

Figura 17.- Distribución de materia orgánica total (%) en sedimento marino (µg/L) por playas, bahía de Huarmey, 2015-2019

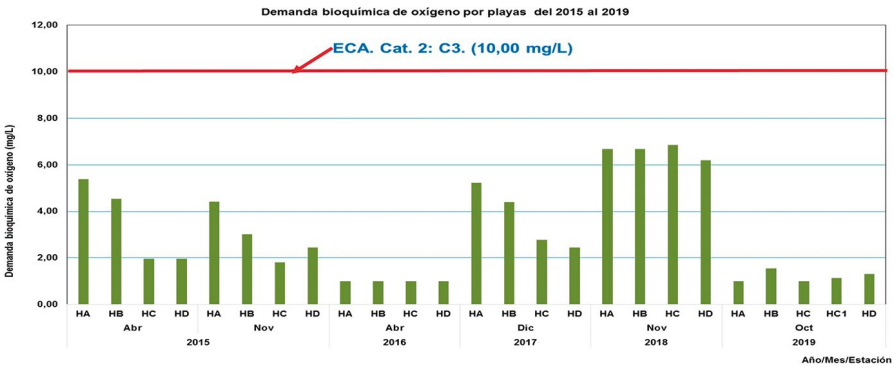

Figura 18.- Distribución de la demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) por playas, bahía de Huarmey, 2012-2019

Tabla 12.- Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L), por línea de playa, bahía de Huarmey, Áncash, Perú. 2015-2019

Año	Mes	DBO (mg/L) / estación				
		HA	HB	HC	HC1	HD
2015	Abril	5,39	4,54	1,96		1,96
2016	Abr-May	1,00	1,00	1,00		1,00
	Nov	5,22	4,40	2,77		2,45
2018	Nov.	6,68	6,68	6,85		6,19
2019	Oct	1,00	1,55	1,00	1,14	1,30

Tabla 13.- Coliformes totales (NMP/100 mL) por línea de playa, bahía de Huarmey, Áncash, Perú, 2012-2019

Año	Mes	Coliformes Totales (NMP/100 mL)				
		HA	HB	HC	HC1	HD
2015	Abril	<1,80	<1,80	<1,80		<1,80
2016	Abr-May	130,0	49,0	<1,80		<1,80
	Nov	23,00	2,00	<1,80		<1,80
2018	Nov.	<1,80	<1,80	33,00		<1,80
2019	Oct	2,00	2,00	130,00	4,00	4,50

Demanda bioquímica de oxígeno, DBO_5 (mg/L). En algunas estaciones evaluadas presentó concentraciones de 1,00 mg/L (abril-mayo 2016 y octubre 2019) a 6,85 mg/L (noviembre 2018). También se observaron concentraciones menores a 8,00 mg/L. En ninguno de los casos superó el ECA Cat. 2: C3 (10 mg/L) (Tabla 12, Fig. 18).

Coliformes totales (NMP/100 mL). Los coliformes totales variaron de < 1,80 NMP/100 mL (abril 2015, abril-mayo y noviembre 2016 y diciembre 2018) a 130,00 NMP/100 mL (octubre 2019). En la mayor parte de las estaciones evaluadas se determinaron valores menores a 30,00 NMP/100 mL (Tabla 13, Fig. 19).

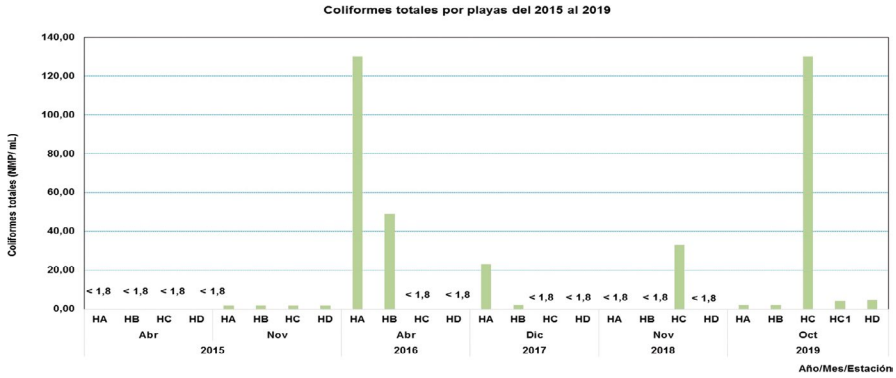

Figura 19.- Distribución de coliformes totales (NMP/100 mL) por playas, bahía de Huarmey. 2012-2019

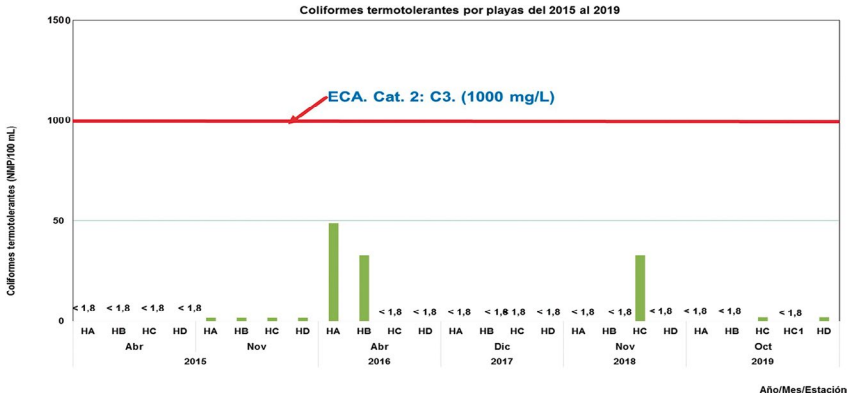

Figura 20.- Distribución de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) por playas, bahía de Huarmey, 2015-2019

Tabla 14.- Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) por línea de playa, bahía de Huarmey, Áncash, Perú, 2012-2019

Año	Mes	Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)				
		HA	HB	HC	HC1	HD
2015	Abril	<1,80	<1,80	<1,80		<1,80
2016	Abr-May	49,00	33,00	<1,80		<1,80
	Nov	<1,80	<1,80	<1,80		<1,80
2018	Nov.	<1,80	<1,80	33,00		<1,80
2019	Oct	<1,80	<1,80	2,00	<1,80	2,00

Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL). Fluctuaron entre < 1,80 NMP/100 mL (abril 2015, abril-mayo y noviembre 2016, noviembre 2018, octubre 2019) y 49,00 NMP/100 mL (abril-mayo 2016), predominando concentraciones menores a 10,00 NMP/100 mL (Tabla 14, Fig. 20).

Sólidos suspendidos totales. Por playas varió de 15,50 (noviembre 2016) a 55,00 mg/L (abril 2015). La distribución presentó en todas las estaciones evaluadas concentraciones menores a 60,00 mg/L (Tabla 15, Fig. 21).

Aceites y grasa. Por playas se encontraron concentraciones de 0,10 mg/L (noviembre 2016 y octubre 2019) a 0,70 mg/L (abril 2015 y 2016). En todas las estaciones evaluadas las concentraciones fueron menores a 1,00 mg/L (Tabla 15, Fig. 22).

Sulfuro de hidrógeno. Las concentraciones presentaron, en algunas estaciones, valores menores a 0,0100 mg/L y muestras no detectadas (ND) por la sensibilidad del equipo, la concentración más alta fue 0,0100 mg/L que se encontró en octubre 2019. Por playas predominaron concentraciones por debajo del valor de 0,0500 mg/L (Tabla 15, Fig. 23).

Tabla 15.- Parámetros de indicadores de contaminación por línea de playa (superficial), bahía de Huarmey, Áncash, Perú, 2015-2019

Año	Mes		HA	HB	HC	HC1	HD
2015	Abr. (s)	Sól. Susp.	52,00	38,00	55,00		48,00
		A+g	0,70	0,50	0,70		0,70
		H_2S	0,0064	ND	0,0067		---
	Nov.(s)	Sól. Susp.	54,50	57,00	57,50		53,00
		A+g	0,41	0,30	0,42		0,10
		H_2S	0,0071	0,0062	0,0058		0,0042
2016	Abr–May.(s) Abr-May.(f)	Sól.Susp	31,50	33,50	26,00		25,00
		A+g*	0,30	0,30	0,70		0,70
		H_2S	0,0054	0,0058	<0,0100		<0,0100
	Nov.(s) Nov.(f)	Sól. Susp.	15,50	19,50	15,50		33,50
		A+g	0,10	0,20	0,60		0,40
		H_2S	0,0082	0,0137	0,0140		---
2017	Dic.(s) Dic.(f)	Sól. Susp.	40,00	16,50	44,50		43,50
		A+g	0,31	0,52	0,40		0,30
		H_2S	<0,0100	<0,0100	<0,0100		<0,0100
2018	Nov.(s) Nov.(f)	Sól. Susp.	33,50	33,50	18,00		24,50
		A+g	0,50	0,40	0,50		0,30
		H_2S	<0,0100	<0,0100	0,0061		0,0052
2019	Oct.(s) Oct.(f)	Sól. Susp.	43,00	49,50	34,00	31,50	34,50
		A+g	0,20	0,10	0,21	0,20	0,20
		H_2S	<0,0100	<0,0100	<0,0100	0,0100	<0,0100

Sól. Susp.= Sólidos suspendidos
A + g= Aceites y grasa
H_2S= Sulfuro de Hidrógeno

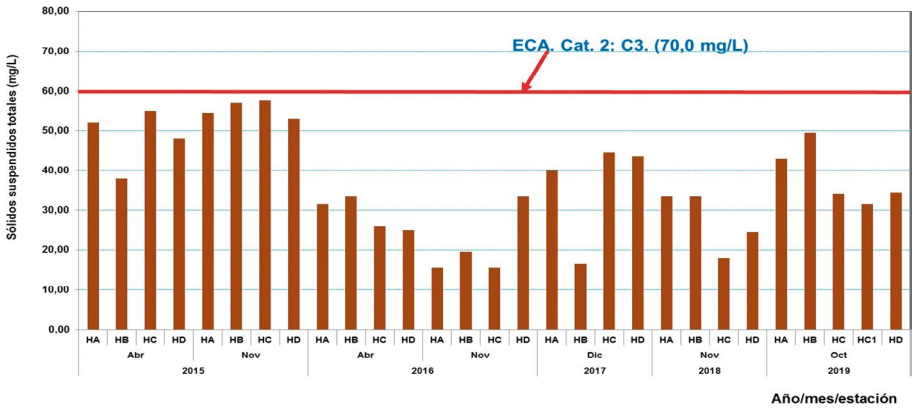

Figura 21.- Distribución de sólidos suspendidos totales (mg/L) por playas, bahía de Huarmey, 2015-2019

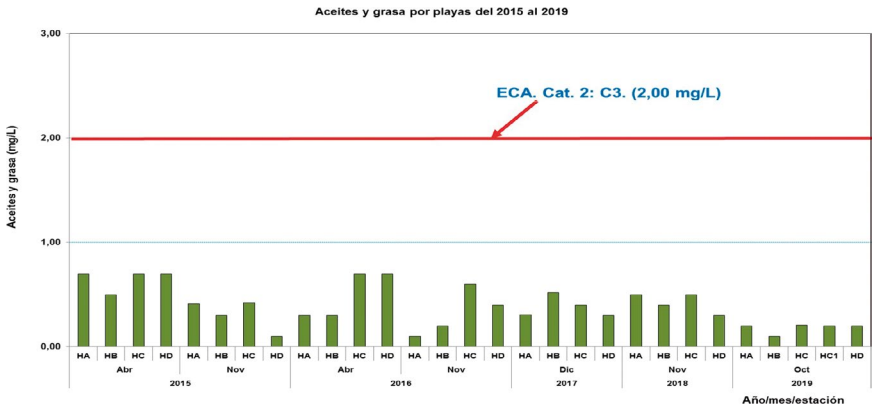

Figura 22.- Distribución de aceites y grasa (mg/L) por playas, bahía de Huarmey, 2015-2019

Tabla 16.- Parámetros físicos, químicos y sedimentológicos promedio en el río Huarmey. Bahía de Huarmey, Áncash, Perú, 2015-2019

Año	Mes	Temperatura (°C)	pH (unidad)		Oxígeno disuelto (mg/L)	Fosfatos (µM)	Silicatos (µM)	Nitratos (µM)	Nitritos (µM)	Clorofila "a" (µg/L)	Feopigmentos (µg/L)	Materia orgánica orgánica total (%)
			Mínimo	Máximo								
2015	Abril	23,5	8,49	8,95	7,98	0,97	149,01	19,48	0,31	1,50	0,57	1,06
	Noviembre	25,6	8,50	9,33	7,27	3,43	294,70	0,57	2,93	1,56	1,02	1,36
2016	Abril-mayo	27,3	9,09	9,46	9,69	…	…	…	…	…	0,13	0,09
	Noviembre	27,0	8,07	8,74	8,20	1,42	139,66	5,31	0,65	1,34	0,58	1,63
2017	Diciembre	28,0	8,86	9,47	8,77	2,51	172,81	1,78	0,28	0,74	0,39	1,82
2018	Noviembre	26,1	9,03	9,15	7,17	2,14	47,25	8,59	0,48	11,20	3,28	1,83
2019	Octubre	20,7	7,50	8,57	9,76	2,61	152,07	2,49	0,42	12,30	8,04	1,41

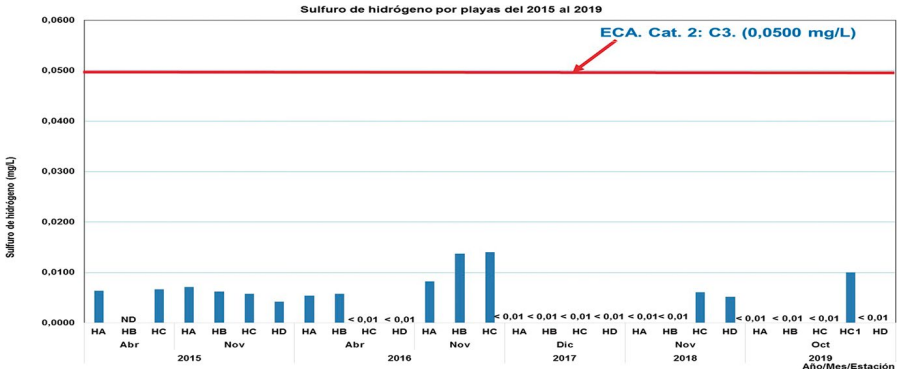

Figura 23.- Distribución de sulfuro de hidrógeno (mg/L) por playas, bahía de Huarmey, 2015-2019

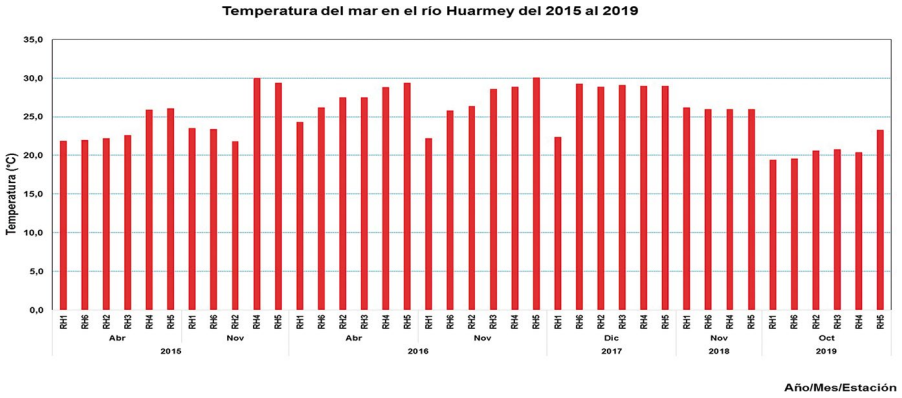

Figura 24.- Distribución de temperatura (°C) en el río Huarmey, 2015-2019

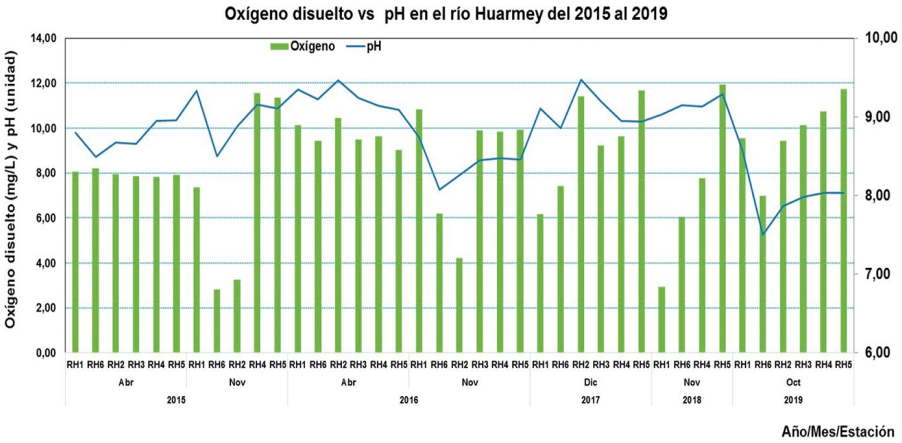

Figura 25.- Distribución de oxígeno (mg/L) y pH, río Huarmey, 2015-2019

Características físicas, químicas y biológicas en el río Huarmey

Temperatura (°C). En la cuenca alta del río Huarmey los promedios fueron de 20,7 °C (octubre 2019) a 28,0 °C (diciembre 2017), variando entre 19 y 30 °C (Tabla 16, Fig. 24).

Oxígeno disuelto (mg/L). El promedio fluctuó entre 7,17 mg/L (noviembre 2018) y 9,69 mg/L (abril-mayo 2016), predominando valores mayores a 5,00 mg/L (Tabla 16, Fig. 25).

La concentración mínima de **pH**, fue de 7,50 unidades (octubre 2019) a 9,03 unidades (noviembre 2018) y las máximas fluctuaron entre 8,57 unidades (octubre 2019) y 9,47 unidades (diciembre 2017). Las aguas continentales por tener tendencia a la basicidad presentan valores elevados de pH (Tabla 16, Fig. 25).

Fosfatos (µM). Las concentraciones promedio variaron de 1,42 µM (noviembre 2016) a 3,43 µM (noviembre 2015) (Tabla 16, Fig. 26).

Silicatos (µM). Las concentraciones promedio variaron de 47,25 µM (noviembre 2018) a 294,70 µM (noviembre 2015) (Tabla 16, Fig. 27).

Nitratos (µM). En promedio fluctuaron entre 0,57 µM (noviembre 2015) y 19,48 µM (abril 2015) (Tabla 16). Su distribución por estaciones, se observa en la Figura 28.

Nitritos (µM). Sus concentraciones promedio variaron de 0,28 µM (diciembre 2017) a 2,93 µM (noviembre 2015) (Tabla 16). En la Figura 29 se observa su distribución por estaciones evaluadas.

Clorofila-a (µg/L). Su promedio fluctuó entre 0,74 µg/L (diciembre 2017) y 12,30 µM (octubre 2019) (Tabla 16). En la Figura 30, se observa la distribución de sus concentraciones por estaciones evaluadas.

Feopigmentos (µg/L). En promedio variaron de 0,13 µg/L (abril-mayo 2016) a 8,04 µM (octubre 2019) (Tabla 16). La distribución de sus concentraciones se observa en la Figura 31.

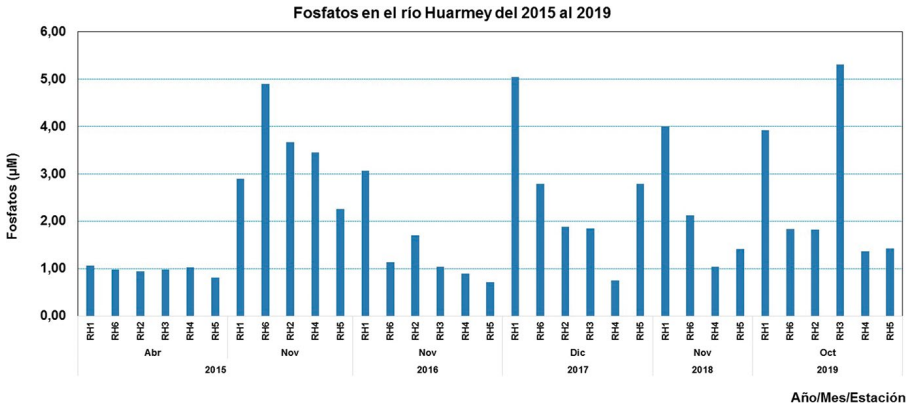

Figura 26.- Distribución de fosfatos (µM) en el río Huarmey, 2015-2019

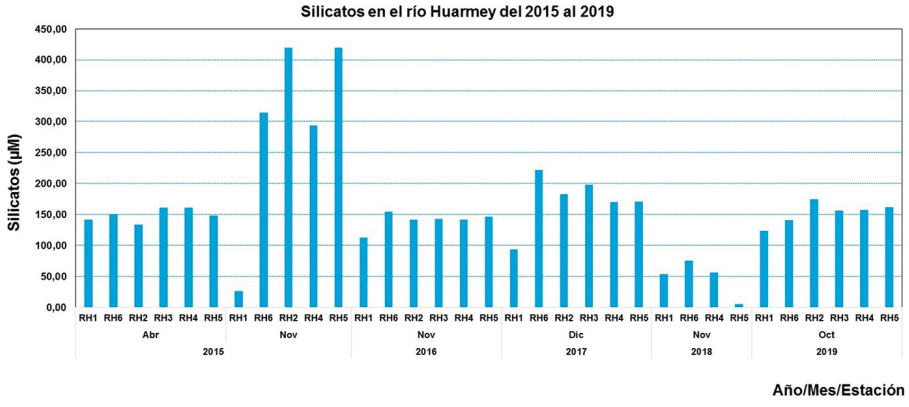

Figura 27.- Distribución de silicatos (µM) en el río Huarmey, 2015-2019

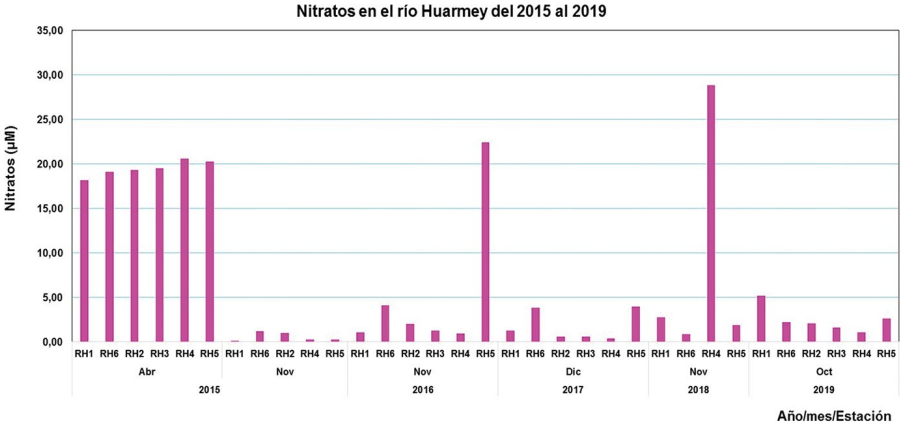

Figura 28.- Distribución de nitratos (µM) en el río Huarmey, 2015-2019

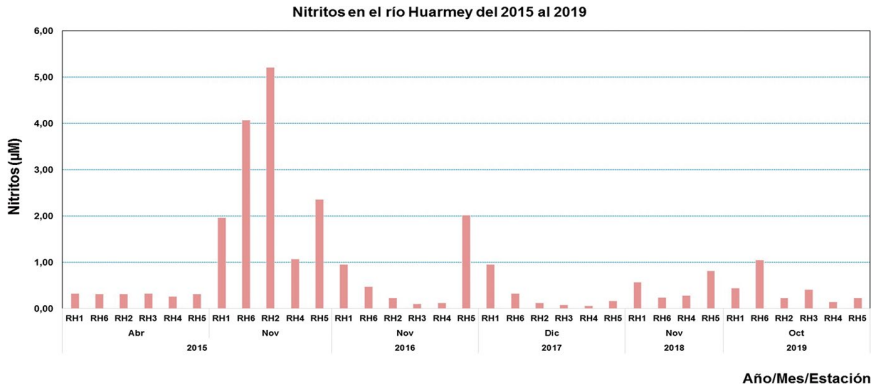

Figura 29.- Distribución de nitritos (µM) en el río Huarmey, 2015-2019

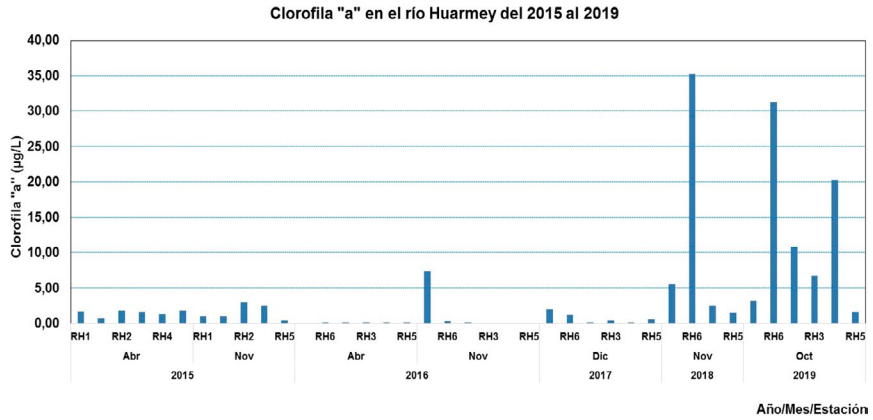

Figura 30.- Distribución de clorofila-a (µg/L), río Huarmey, 2012-2019

Materia Orgánica Total (%) (MOT). Sus concentraciones promedio fueron de 0,09% (abril-mayo 2016) a 1,83% (noviembre 2018) (Tabla 16). En la Figura 32 se observan sus concentraciones en las diversas estaciones.

Demanda bioquímica de oxígeno, DBO_5 (mg/L). Las concentraciones variaron de 1,00 mg/L (abril 2015 y 2016) a 12,23 mg/L (noviembre 2018) (Tabla 17). En la Figura 33 se observan las concentraciones en diversas estaciones.

Coliformes totales (NMP/100 mL). Los coliformes totales variaron de 13 NMP/100 mL (abril 2015) a 9200 NMP/100 mL (noviembre 2016 y octubre 2019) (Tabla 18). Predominaron las concentraciones menores a 4000 NMP/100 mL (Fig. 34).

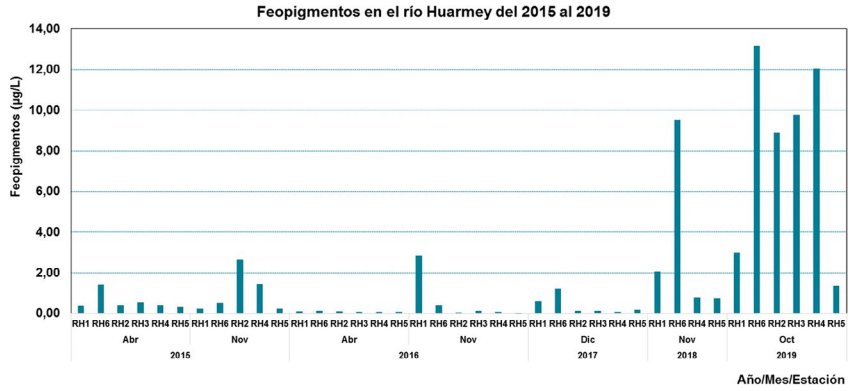

Figura 31.- Distribución de feopigmentos (µg/L), río Huarmey, 2015-2019

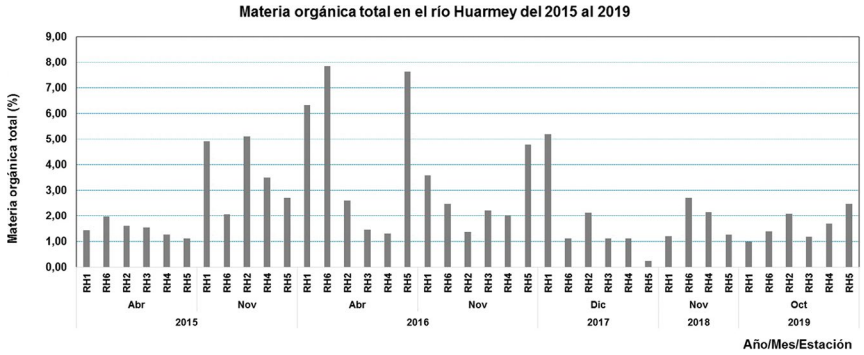

Figura 32.- Distribución de la materia orgánica total (%) en sedimento marino (µg/L), río Huarmey, 2015-2019

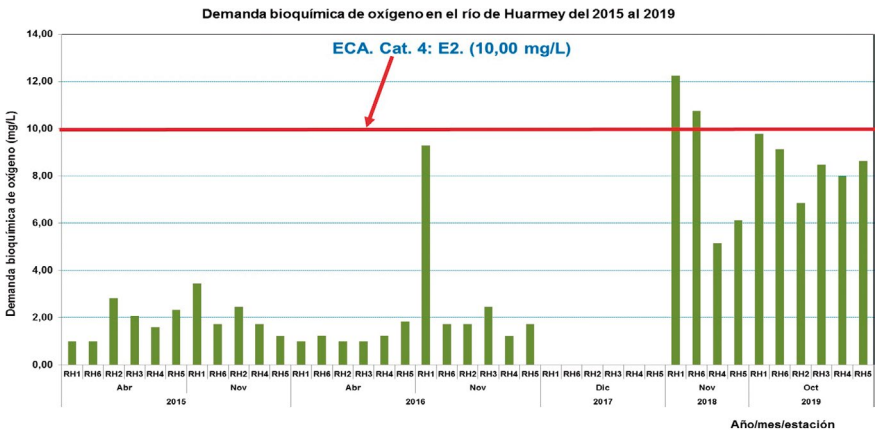

Figura 33.- Distribución de la demanda bioquímica de oxígeno (mg/L), río Huarmey, 2015-2019

Tabla 17.- Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L), río Huarmey, Áncash, Perú, 2015-2019

Año	Mes	Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)					
		RH1	RH6	RH2	RH3	RH4	RH5
2015	Abril	1,00	1,00	2,82	2,08	1,59	2,33
	Nov.	3,43	1,72	2,45	---	1,72	1,22
2016	Abr-May	1,00	1,23	1,00	1,00	1,23	1,84
	Nov	9,29	1,71	1,71	2,45	1,22	1,71
2018	Nov.	12,23	10,76			5,14	6,11
2019	Oct	9,78	9,13	6,85	8,48	7,99	8,64

Tabla 18.- Coliformes totales (NMP/100 mL), río Huarmey, Áncash, Perú, 2015-2019

Año	Mes	Coliformes totales (NMP/100 mL)					
		RH1	RH6	RH2	RH3	RH4	RH5
2015	Abril	40,00	13,00	230,00	230,00	18,00	20,00
	Nov.	20,00	5400,00	790,00	---	1700,00	3500,00
2016	Abr-May	1700,00	2200,00	1300,00	1100,00	2400,00	490,00
	Nov	240,00	9200,00	3500,00	2800,00	3500,00	5400,00
2018	Nov.	350,00	3500,00			49,00	1100,00
2019	Oct	3300,00	1100,00	240,00	9200,00	49,00	490,00

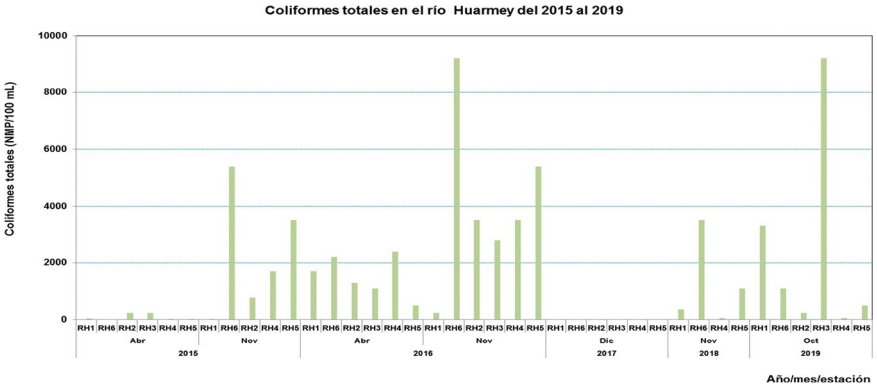

Figura 34.- Distribución de coliformes totales (NMP/100 mL), río Huarmey, 2015-2019

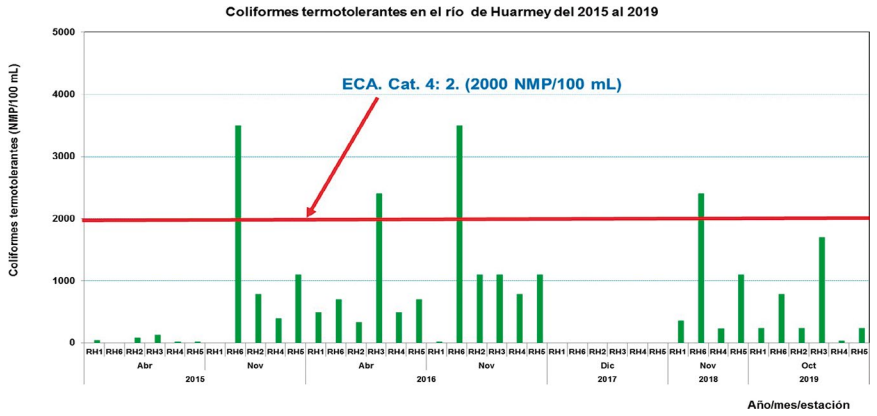

Figura 35.- Distribución de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL), río Huarmey, 2015-2019

Tabla 19.- Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL), río Huarmey, Áncash, Perú, 2015-2019

Año	Mes	Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)					
		RH1	RH6	RH2	RH3	RH4	RH5
2015	Abril	40,00	4,50	78,00	130,00	18,00	20,00
	Nov.	1,80	3500,00	790,00	---	400,00	1100,00
2016	Abr-May	490,00	700,00	330,00	2400,00	490,00	700,00
	Nov	23,00	3500,00	1100,00	1100,00	790,00	1100,00
2018	Nov.	350,00	2400,00			230,00	1100,00
2019	Oct	240,00	790,00	240,00	1700,00	33,00	240,00

Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL). Las concentraciones variaron de 1,80 NMP/100 mL (noviembre 2015) a 3500 NMP/100 mL (noviembre 2015 y 2016) (Tabla 19). En la Figura 35 se observa la distribución de concentraciones en las estaciones evaluadas.

Sólidos suspendidos totales. Por la cuenca alta del río Huarmey los sólidos suspendidos totales presentaron concentraciones de 6,50 mg/L (noviembre 2018) a 65,50 mg/L (abril 2015) (Tabla 20). En todas las estaciones evaluadas, la distribución de concentraciones, fueron menores a 100 mg/L (Fig. 36).

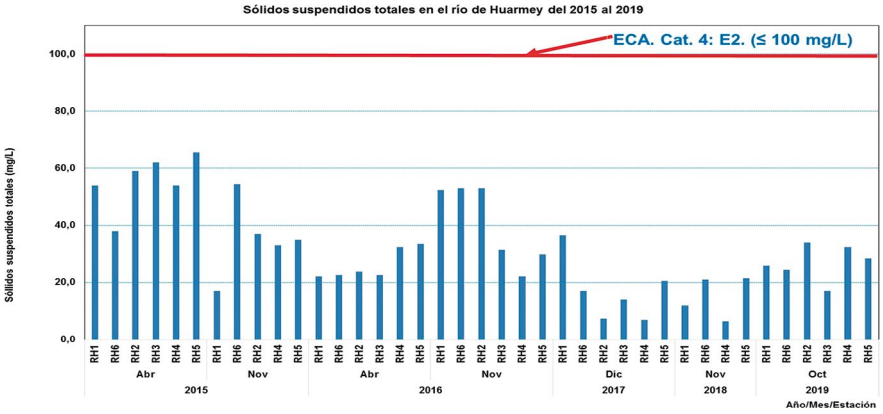

Figura 36.- Distribución de sólidos suspendidos totales (mg/L), río Huarmey, 2015-2019

Tabla 20.- Parámetros de agentes contaminantes, río Huarmey, Ancash, Perú, 2015-2019

Año	Mes		RH1	RH6	RH2	RH3	RH4	RH5
2015	Abr.	Sól.susp	54,00	38,00	59,00	62,00	54,00	65,50
		A+g*	0,80	0,70	1,30	0,50	0,60	1,00
	Nov.	Sól.susp	17,00	54,50	37,00		33,00	35,00
		A+g*	0,30	0,20	0,30		0,10	0,10
2016	Abr–May.	Sól.susp	22,00	22,50	24,00	22,50	32,50	33,50
		A+g*	0,70	0,60	0,51	0,60	0,84	---
	Nov.	Sól.susp	52,50	53,00	53,00	31,50	22,00	30,00
		A+g*	0,60	0,60	0,80	0,10	0,50	0,60
2017	Dic.	Sól.susp	36,50	17,00	7,50	14,00	7,00	20,50
		A+g*	0,40	0,80	0,40	0,40	1,10	1,10
2018	Nov.	Sól.susp	12,00	21,00			6,50	21,50
		A+g*	0,60	0,20			0,10	0,20
2019	Oct.	Sól.susp	26,00	24,50	34,00	17,00	32,50	28,50
		A+g*	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20

Sól. Sup= sólidos suspendidos
A+g= aceites más grasa

Aceites y grasa. Las concentraciones fueron de 0,10 mg/L (noviembre 2015, 2016 y 2018) a 1,10 mg/L (diciembre 2017) (Tabla 20).

4. DISCUSIÓN

El ambiente en la bahía de Huarmey, presentó un comportamiento térmico de frio a moderado en los años evaluados, con valores termo-halinos de aguas de mezcla de las aguas costeras frías (acf) y Aguas Subtropicales Superficiales (ASS), también se determinaron concentraciones de aguas mixohalinas debido a la mezcla de aguas marinas con aguas continentales del río Huarmey y vertidos antropogénicos. La distribución térmica se presentó más cálida por la parte norte de la bahía y más fría por la zona sur, condición similar se encontró en abril 2003, cuando la temperatura superficial del mar (TSM) se mostró bastante homogénea; en marzo 2002 las temperaturas disminuyeron desde el interior de la bahía hacia el oeste (Jacinto *et al*., 2008a, b). Zuta y Guillén, (1970) mencionan que, la superficie del mar como interface, constituye la parte más importante del océano, pues a través de ella se realizan las interacciones entre el océano y la atmósfera, con un flujo constante de energía radiante hacia la masa líquida y de ésta hacia el espacio.

La bahía de Huarmey, presenta una geomorfología de configuración semiabierta y con batimetría de 5 a 30 m de profundidad (Jacinto & Aguilar, 2007), esta bahía como área acuática es receptora de aguas continentales como las del río Huarmey, de aguas antropogénicas de aguas residuales domésticas o municipales y el pasivo existente por los vertidos de la industria pesquera, las que impactaron en el equilibrio físico, químico y biológico del ecosistema marino de la bahía en el periodo evaluado.

En la bahía de Huarmey, las concentraciones de oxígeno disuelto fueron predominantemente menores a 4,00 mg/L, y estuvieron asociadas al proceso de afloramiento costero con algunos valores menores a 2,50 mg/L encontradas en noviembre 2015 y 2018 con temperaturas próximas a 17,0 °C tanto en superficie como en fondo y valores de pH fueron mayores a 8,00 unidades (García *et al*., 2015; García Nolazco *et al*., 2019). Las concentraciones de oxígeno disuelto más bajas se determinaron al sur de la bahía y las más altas al norte, las que se encontraron dentro de su normalidad. Tam *et al*. (2007) mencionan que, 50% de los valores obtenidos en superficie y 67% en fondo, no superaron los 3,00 mg/L de oxígeno, establecidos como límite en la clase IV de la Ley General de Aguas (1969), hoy en día tenemos a los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (ECA), reglamentada por el D S Nº 004-2017-MINAM (se citará como Minam, 2017), que establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.

Los fosfatos presentaron concentraciones > 4,00 µM y los silicatos > 20,00 µM. A través del sistema de afloramiento costero las masas de agua surgen desde el fondo marino hacia la superficie trayendo consigo aguas frías con alta concentración de nutrientes, que favorece a la productividad primaria especialmente la planctónica. Según Morón (2000) la presencia de fosfatos y silicatos en el agua está estrechamente relacionada con el fenómeno de afloramiento. Estos nutrientes son utilizados por diversas especies biológicas como las algas diatomeas, silicoflagelados, radiolarios y ciertas esponjas que tienen esqueletos de sílice. De otro lado, los nitratos y nitritos desempeñan un papel crucial en el mantenimiento de las poblaciones de fitoplancton. La síntesis de compuestos orgánicos a partir de los constituyentes inorgánicos del agua de mar debido a la actividad de los seres vivos se denomina producción. Se lleva a cabo casi enteramente gracias a la actividad fotosintética de las plantas marinas, aun cuando hay trazas de materia orgánica formada por quimio síntesis (Tait, 1987). El estudio de los nutrientes en el medio marino es importante para calificar la calidad del agua. Según Graco *et al*. (2007) afirman que la capa superficial de la columna de agua, por ejemplo, se caracteriza por presentar máximos y mínimos que se relacionan con los fenómenos de surgencia (aguas ricas en nutrientes) y/o fotosíntesis cuando se produce absorción de nutrientes. En el medio marino se observó en época de verano que los fosfatos presentan bajos valores; en tanto que, en invierno, cuando se intensifica el afloramiento costero, sus valores son altos (Morón, 2000); García *et al*. (2014)[3], encontraron que algunas empresas utilizan detergentes que contienen fosforo y en algunos casos enlaces iónicos para la limpieza de sus embarcaciones e infraestructuras portuarias, incrementando la concentración de fosfatos en la bahía de Huarmey.

Al evaluar la demanda bioquímica de oxígeno, se encontró en todas las estaciones concentraciones menores de 10,00 mg/L que no superaron el valor permitido (10,00 mg/L) por los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales. C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras. Los indicadores microbiológicos como son los coliformes totales, presentaron un valor puntual de 330 NMP/100 mL en la estación 63 en octubre 2019; en tanto que, en las otras estaciones del periodo evaluado las concentraciones fueron menores a 200 NMP/100 mL; mientras que, los coliformes termotolerantes, en la estación 68 (noviembre 2018), se encontró en 33 NMP/100 mL, que superó lo permitido por la normatividad vigente (≤ 30 NMP/100 mL) pero en los otros años evaluados presentaron concentraciones menores a lo permitido para la categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales. C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras (Minam, 2017). Los resultados obtenidos nos estarían indicando que, en ese periodo de tiempo, el ecosistema marino presentó buenas condiciones climáticas y la evaluación del ecosistema marino del litoral costero de la bahía de Huarmey fue óptimo, así como que el estado del mar fue saludable para la actividad recreativa y pesquera.

3 García, V., Gonzales, I., Orozco, R. & Sánchez, S. (2014, no publicado). Monitoreo del ambiente marino costero en el litoral costero de la Región Ancash. Diciembre 2014. (Informe Interno). Instituto del Mar del Perú.

En el periodo evaluado en la bahía de Huarmey, los agentes contaminantes como sólidos suspendidos totales, presentaron en algunas estaciones de noviembre 2015 y octubre 2019, valores puntuales que superaron lo permitido (60,00 mg/L); en tanto que, en las otras evaluaciones no superaron lo permitido por los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales. C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras. Las concentraciones de aceites y grasa presentaron en algunas estaciones de diciembre 2017 y octubre 2019 valores puntuales que superaron la normatividad vigente (1,00 mg/L); en tanto que, en las otras evaluaciones no se encontraron concentraciones mayores a lo permitido por los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales. C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras (Minam, 2017).

Los sulfuros de hidrógeno presentaron, en todas las evaluaciones, concentraciones que no superaron lo permitido (0,0500 mg/L) por la normatividad vigente de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales. C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras (Minam, 2017).

Para la biomasa fitoplanctónica en los años evaluados, se identificaron organismos indicadores de masas de agua, como: *Protoperidinium obtusum* indicador de aguas costeras frías y *Protoperidinium oceanicum* indicador de aguas cálidas.

La materia orgánica total presentó en la mayor parte de la bahía textura de arena fina con fango, mostrando propiedades organolépticas en algunas estaciones de ligero olor a sulfuros. García *et al*. (2019) menciona que, la materia orgánica total fue de 1,91% en Casma a 9,80%; en tanto que. para Huarmey fue de 3,76%.

La calidad acuática por playas de la bahía de Huarmey, con relación a la temperatura mostró generalmente incremento de sur a norte de la bahía, en tanto que, en abril 2015 y octubre 2019 incrementó de norte a sur; la distribución halina presentó por el borde costero aguas de mezcla de aguas costeras frías (acf) y Aguas Subtropicales Superficiales (ASS).

Respecto a los análisis microbiológicos de la demanda bioquímica de oxígeno presentó en todas las evaluaciones concentraciones por debajo de lo establecido (10 mg/L) por los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales. C3: Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras (Minam, 2017).

Los coliformes totales presentaron en todas las evaluaciones, concentraciones menores a 150 NMP/100 mL. Los coliformes termotolerantes se encontraron en concentraciones menores al establecido (1000 NMP/100 mL) por la normatividad de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales. C3: Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras.

Los sólidos suspendidos totales presentaron concentraciones que no superaron lo permitido (70 mg/L) por los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales. C3: Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras (Minam, 2017). Los aceites y grasa presentaron concentraciones que superaron lo permitido (2 mg/L) por los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeas y continentales. C3: Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras (Minam, 2017); los sulfuros de hidrógeno presentaron concentraciones que no sobrepasaron lo permitido (0,0500 mg/L) por los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeas y continentales. C3: Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras (Minam, 2017).

En la cuenca baja del río Huarmey los registros térmicos en áreas someras (menores a 30 cm de profundidad) presentaron en la mayoría de las estaciones valores mayores a 22,0 °C, se observó disminución de temperatura desde la parte alta hacia la desembocadura del río.

Respecto a los análisis de la demanda bioquímica de oxígeno en el río Huarmey presentó concentraciones que no superaron lo permitido (10 mg/L) por los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, categoría 4: Conservación del ambiente acuático. E3: Ríos: Costa y sierra (Minam, 2017); los coliformes totales mostraron valores puntuales de 9200 NMP/100 mL en las evaluaciones de noviembre 2016 y octubre 2019. Los indicadores de contaminación microbiológica de coliformes termotolerantes, puntualmente fueron mayores a 2000 NMP/100 mL en algunas estaciones de noviembre 2015, 2016 y 2018, abril 2016 y octubre 2019 que sobrepasaron lo permitido (2000 NMP/100 mL) por la normatividad vigente en consideración a los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, categoría 4: Conservación del ambiente acuático. E2: Ríos: Costa y sierra (Minam, 2017).

Los sólidos suspendidos totales en el río Huarmey, se encontraron en concentraciones que no superaron lo permitido (≤ 100 mg/L) por los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, categoría 4: Conservación del ambiente acuático. E2: Ríos: Costa y sierra (Minam, 2017).

Los aceites y grasa en los años 2015-2019 presentaron concentraciones que no sobrepasaron lo permitido (5 mg/L) por la normatividad vigente de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, categoría 4: Conservación del ambiente acuático. E2: Ríos. Costa y sierra (Minam, 2017).

Las concentraciones de materia orgánica total en el río Huarmey presentaron textura de arena fina y la mayoría de las estaciones evaluadas no revelaron olor a sulfuros, denotando un ambiente normal en su constitución sedimentaria y química.

De acuerdo con los resultados obtenidos en los años evaluados, la bahía de Huarmey ha presentado un ecosistema marino favorable, donde la mayoría de los indicadores de contaminación están por debajo de lo permitido por la normatividad vigente de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, esto repercutirá en el equilibrio del ecosistema marino con los recursos hidrobiológicos que sustentan las diversas pesquerías, en la flora y fauna marina, así como en el sustrato.

5. CONCLUSIONES

Las condiciones ambientales de la bahía de Huarmey en los años evaluados (y por los resultados obtenidos) denota no haber sido mayormente afectado el sustrato marino, la calidad del agua y los recursos hidrobiológicos, debido a que la mayoría de valores estuvieron por debajo de lo permitido por los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental.

En el litoral costero de la bahía de Huarmey se localizaron mezcla de masas de aguas costeras frías y de Aguas Subtropicales Superficiales, con mínima influencia de las aguas del río Huarmey y aguas antropogénicas.

Los parámetros de la demanda bioquímica de oxígeno y los sulfuros de hidrógeno principalmente, no sobrepasaron los valores permitidos por los ECAs de la legislación vigente peruana.

Los parámetros físicos, químicos y biológicos analizados por playas de la bahía de Huarmey y del río Huarmey presentaron algunos valores puntuales que sobrepasaron lo permitido por los ECAs.

6. REFERENCIAS

Carritt, 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.

Dean Jr., W. E. (1974). Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments rocks by loss on ignition: comparation with other methods. *J. sedim. Petrol.*,*44*(1), 242-248.

Decreto Supremo Nº 004-2017-MINAM. (2017). *Por el cual aprueban los Estándares Nacionales de Calidad (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias*. Ministerio del Ambiente. https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/3671-004-2017-minam

García Nolazco, V., Orozco Moreyra, R. & Perea de la Matta, A. (2019). Calidad del ambiente marino y costero en la Región Áncash, 2018. *Bol Inst Mar Perú*, *34*(2). https://hdl.handle.net/20.500.12958/3395

García, V., Rubio, J., Sánchez, G., Sánchez, S., Orozco, R., Huerto, M. & Cervantes, C. (2015). Calidad del ambiente marino y costero en la Región Áncash, 2012. *Inf Inst Mar Perú, 42*(4), 436-459. https://hdl.handle.net/20.500.12958/2992

Graco, M., Ledesma, J., Flores, G. & Girón, M. (2007). Nutrientes, oxígeno y procesos biogeoquímicos en el sistema de surgencias de la corriente de Humboldt frente a Perú. *Revista Peruana de Biología*, *14*(1), 117-128. https://doi.org/10.15381/rpb.v14i1.2165

Jacinto, M. E. & Aguilar, S. (2007). Concentraciones traza de metales en especies marinas de la bahía de Huarmey, Áncash, Perú. *Rev. Perú. Biol*., *14*(2), 307-311. http://www.scielo.org.pe/pdf/rpb/v14n2/a24v14n02.pdf

Jacinto, M. E., Cabello, R. & Orozco, R. (2008a). Calidad ambiental en el área marina costera de Huarmey, Perú. Marzo 2002. *Inf Inst Mar Perú*. *35*(1), 49-58. https://hdl.handle.net/20.500.12958/1851

Jacinto, M. E., Dominguez, N. & Orozco, R. (2008b). Bahía de Huarmey, Áncash, Perú. Evaluación ambiental en abril 2003. *Inf Inst Mar Perú*, *35*(1), 59-64. https://hdl.handle.net/20.500.12958/1852

Morón, O. (2000). Características del ambiente marino frente a la costa peruana. *Bol Inst Mar Perú, 19*(1- 2), 179-204. https://hdl.handle.net/20.500.12958/1008

Rice, E. W., Baird, R. B. & Eaton, A. D. (2013). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23rd Edition.

Strickland, J. D. H. & Parson, T. R. (1972). *Practical Handbook of Seawater Analysis* (Bulletin 167, 2° ed.). Fisheries Board of Canada Ottawa. http://dx.doi.org/10.25607/OBP-1791

Tait, R. V. (1987). *Elementos de ecología marina* (3º ed.). Editorial Acribia, S.A.

Tam, J. Ganoza, F. & Orozco, R. (2007). Prospección biológico-pesquera y calidad del ambiente marino en Huarmey, Áncash. Otoño 2000. *Inf Inst Mar Perú*, *34*(3), 255-268. https://hdl.handle.net/20.500.12958/1963

Zuta, S. & Guillen, O. (1970). Oceanografía de las aguas costeras del Perú. *Bol Inst Mar Perú*, *2*(5), 157-324. https://hdl.handle.net/20.500.12958/949