INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

INFORME

ISSN 0378-7702

Volumen 44, Número 2

Abril - Junio 2017
Callao, Perú

PERÚ Ministerio de la Producción

ASPECTOS FÍSICOS, QUÍMICOS, BIOLÓGICOS Y SEDIMENTOLÓGICOS: ECOSISTEMA DE SAN JUAN DE MARCONA. FEBRERO 2014

PHYSICAL, CHEMICAL, BIOLOGICAL AND SEDIMENTOLOGICAL PROCESSES: SAN JUAN DE MARCONA ECOSYSTEM. FEBRUARY 2014

Octavio Morón[1] *Jorge Quispe* *Georgina Flores* *Alberto Lorenzo*
Liz Romero *Carmela Nakazaki* *Juana Solís* *Edson Gómez*

RESUMEN

Morón O, Quispe J, Flores G, Lorenzo A, Romero L, Nakazaki C, Solís J, Gómez E. 2017. *Aspectos* físicos, *químicos, biológicos y sedimentológicos: Ecosistema de San Juan de Marcona. Febrero 2014. Inf Inst Mar Perú. 44(2): 157-186.-* Esta evaluación se efectuó entre el 7 y 12 de febrero 2014. En cuarenta estaciones superficiales, cinco secciones verticales y dos líneas paralelas a la costa, se obtuvo información de variables físicas, químicas, biológicas y geológicas. La temperatura, salinidad y oxígeno superficial presentaron valores propios de Aguas Costeras Frías y en una pequeña zona de mezcla, al interior de bahía San Nicolás, se registraron temperaturas mayores a 17 °C y salinidades de 35,0 a 35,05 ups. La columna de agua mostró valores homogéneos que fluctuaron entre 17 y 14 °C. La principal zona de afloramiento se detectó en el extremo sur del área de estudio. Los campos vectoriales de las corrientes marinas mostraron circulación con dirección sur por fuera de la línea costera en las capas de 1 y 5 m de profundidad, mientras que en las capas subsuperficiales (10, 15 y 20 m de profundidad) se registró mayor variación en magnitud y dirección por efecto de la topografía del fondo. Durante el periodo de estudio, la zona marino costera de San Juan de Marcona no presentó contaminación por materia orgánica, los parámetros de calidad ambiental evaluados cumplieron con los requisitos establecidos en los estándares nacionales de calidad ambiental para agua, Categoría 2-Actividades Marino Costeras. El oxígeno se detectó en concentraciones menores a 4 mL/L, lo que indicó procesos de afloramiento asociados a la baja producción fitoplanctónica (clorofila-a <1 μg/L). Como efecto de las aguas de mezcla, la concentración de oxígeno presentó variación espacial, ubicándose entre 2 y 35 m de profundidad. Los valores de materia orgánica fluctuaron de 1,52 a 9,10%, que corresponden a la línea de costa y que fueron favorecidos por la actividad de sulfato-reducción, asociados al incremento del aporte de material orgánico. El fitoplancton estuvo compuesto por diatomeas, dinoflagelados y fitoflagelados. El zooplancton estuvo representado por veintiocho grupos siendo más frecuentes y abundantes los copépodos, seguidos de apendicularias y zoeas de decápodos. Las especies más importantes por altas concentraciones fueron: copépodos *Acartia tonsa* Dana, 1849 y *Paracalanus parvus* (Claus, 1863), apendicularia *Oikopleura* sp. y nauplios de cirrípedos. En el macrozoobentos fueron dominantes poliquetos, moluscos y crustáceos, aunque hubo importante presencia de nemertinos y de la bacteria *Thioploca* sp. Los biovolúmenes, composición, abundancia, y diversidad del zooplancton e ictioplancton fluctuaron entre 1,56 mL.100^{-3} y 523,51 mL.100^{-3}. En el ictioplancton la especie de mayor frecuencia y abundancia fue *Engraulis ringens* Jenyns, 1842 cuyos estadios huevos y larvas estuvieron presentes en 85% y 65%, respectivamente (desove de verano); la abundancia de huevos y larvas fluctuaron entre 14 huevos/100 m^3 y 1546 huevos/100 m^3 y entre 13 larvas/100 m^3 y 393 larvas/100 m^3. La diversidad de Shannon mostró valores desde 0,885 hasta 1,924 bits.ind^{-1}, la equidad (J') osciló entre 0,291 y 0,582.

Palabras clave: Ecosistema, San Juan de Marcona, Perú, febrero 2014

ABSTRACT

Morón O, Quispe J, Flores G, Lorenzo A, Romero L, Nakazaki C, Solís J, Gómez E. 2017. Physical, chemical, biological and sedimentological processes: San Juan de Marcona ecosystem. February 2014. Inf Inst Mar Peru. 44(2): 157-186.- This assessment was carried out between February 7 and 12, 2014. Forty surface stations, five vertical sections and two lines parallel to the coast, information was obtained on physical, chemical, biological and geological variables. Temperature, salinity and surface oxygen presented values of Cold Coastal Waters and a small mixing zone, where temperatures were higher than 17 ° C and salinities of 35.0 to 35.05 ups with an approximation to the interior of San Nicolas Bay. The water column showed homogeneous values that fluctuated between 17 and 14 ° C. The main outcrop area was detected at the southern end of the study area. The vector fields of the ocean currents showed circulation with a southern direction outside the coastline in the 1 and 5 m depth layers, while in the subsurface layers (10, 15 and 20 m depth) there was a greater variation in magnitude and direction by the topography of the bottom. During the study period, the coastal marine area of San Juan de Marcona did not present contamination by organic matter, the environmental quality parameters evaluated met the requirements established in the national environmental quality standards for water, Category 2-Coastal Marine Activities. Oxygen

1 IMARPE, Esq. Gamarra y Gral. Valle s/n, Callao, Perú. omoron@imarpe.gob.pe.

was detected at concentrations lower than 4 mL/L, indicating upwelling processes associated with low phytoplankton production (chlorophyll-a <1 μg/L). As effect of the mixing waters, the concentration of oxygen presented spatial variation, being located between 2 and 35 m of depth. The values of organic matter fluctuated from 1.52 to 9.10%, corresponding to the coastline and that were favored by the sulfate-reduction activity, associated to the increase of the organic material contribution. Phytoplankton was composed of diatoms, dinoflagellates and phytoflagellates. The zooplankton was represented by twenty-eight groups being more frequent and abundant copepods, followed by appendicularias and zoeas of decapods. The most important species were: copepods *Acartia tonsa* Dana, 1849 and *Paracalanus parvus* (Claus, 1863), appendicularia *Oikopleura* sp. and nauplii of cirripedes. In the macrozoobentos polychaetes, molluscs and crustaceans were dominant, although there was important presence of nemertians and *Thioploca* sp. The biovolumes, composition, abundance, and diversity of zooplankton and ichthyoplankton fluctuated between 1.56 mL.100^{-3} and 523.51 mL.100^{-3}. In the ichthioplankton, the most frequent and abundant species were *Engraulis ringens* Jenyns, 1842 whose eggs and larvae were present in 85% and 65% (summer spawning), respectively. The abundance of eggs and larvae ranged from 14 eggs/100 m^3 to 1546 eggs/100 m^3 and from 13 larvae/100 m^3 to 393 larvae/100 m^3. Shannon diversity showed values from 0.885 to 1.924 bits.ind-1, equity (J ') ranged from 0.291 to 0.582.
Keywords: Ecosystem, San Juan de Marcona, Peru, February 2014

1. INTRODUCCIÓN

Es importante evaluar el medio marino para conocer los cambios en las variables oceanográficas en áreas específicas y su relación con las condiciones medioambientales que influyen en la distribución y concentración de los recursos, debido a que las áreas marino costeras son de importancia no solo ecológica, sino también económica porque sustentan importantes actividades extractivas artesanales, lo que motiva la necesidad de efectuar estudios multidisciplinarios, a fin de contar con información técnica que asegure la viabilidad y sostenibilidad de la riqueza específica.

San Juan de Marcona se caracteriza por ser un área de afloramiento intenso, con vientos Alisios predominantemente del SE durante todo el año y, la batimetría muestra diferencias no sólo en el talud sino también en la plataforma. Con relación a la productividad de sus aguas Huntsman y Barber (1977) señalaron que los vientos muy fuertes pueden afectar la formación y permanencia de las celdas de fitoplancton y más bien los vientos moderados y estables pueden actuar favorablemente.

Estudios realizados en Punta San Juan por Walsh et al. (1971) determinaron un estado casi estacionario del fitoplancton a lo largo de tres semanas. Estudios posteriores mostraron variaciones sinusoidales que podrían corresponder a una posible periodicidad diaria relacionada con el consumo del silicato durante el día y bajos niveles de clorofila durante la noche.

En este informe se indican las características físicas y químicas del ambiente marino, de la comunidad fitoplanctónica, indicadores de masas de agua, biomasa planctónica, concentraciones del fitoplancton a 10 m de profundidad, del componente bentónico y sedimentos marinos.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

La evaluación se efectuó en el marco del proyecto GEF-UNDP: Hacia un manejo ecosistémico de la Corriente de Humboldt (GEMCH) – PIMS 4147, entre el 7 y 12 de febrero 2014 en las Bahías de San Juan y San Nicolás.

Área de estudio

Las Bahías de San Juan y San Fernando se ubican en la costa sur del Perú, provincia de Nazca, departamento de Ica.

El área de estudio abarcó las siguientes coordenadas 15°05'56"S - 15°30'44,6"S y 75°04'30,5"W - 75°27'32,0"W, desde el norte de Punta San Fernando hasta la zona denominada Tres Hermanas en el límite con la región Arequipa, incluyendo las bahías San Nicolás y San Juan, hasta las 5 mn de la costa (Fig. 1). Los límites geográficos para esta línea base están enmarcados en lo establecido por el Decreto Supremo Nº 024-2009-MINAM relacionado con la Reserva Nacional Sistema de Islas, Islotes y Puntas Guaneras RNSIIPG (El Peruano 2009).

Embarcaciones, obtención de información y muestras

Se utilizaron 2 embarcaciones, las que trabajaron en forma paralela pero con actividades diferenciadas.

En la embarcación Akimshu de 10 m de eslora se efectuaron 40 estaciones hidrográficas (Fig. 1) empleando un CTD-O SBE 19Plus V2, modelo 6265, la información fue procesada con el programa del equipo "Sea Bird" en la rutina SBE-DataProcessing-Win32.

Se registró en la columna de agua, y en forma continua, temperatura, salinidad y oxígeno. La determinación de la salinidad se realizó por inducción mediante el salinómetro Portasal Guildline 8410A. El oxígeno

disuelto se determinó con el método de Winkler modificado por Carrit y Carpenter (1966).

La obtención de muestras de agua para análisis de clorofila-a, nutrientes, fitoplancton y contaminación marina se efectuó con una botella Niskin de 5 L de capacidad.

La determinación de fosfatos, silicatos, nitratos y nitritos fue realizada de acuerdo a las técnicas y modificaciones dadas por Strickland y Parsons (1972) usando el espectrofotómetro Lambda 45 marca Perkin Elmer. Para clorofila-a fue utilizado el método fluorimétrico Holm-Hansen et al. (1965) y para el pH el potenciómetro marca HANNA.

En la determinación de las corrientes marinas se utilizó un correntómetro doppler portatil (ADCP) RDI Sentinel de 300 Hrz fijado al casco de la embarcación en modo de arrastre que registró la magnitud y dirección, tomando información en niveles (capas) de superficie a fondo en forma continua conforme se desplazaba la embarcación. Para el procesamiento y análisis de la información se utilizó el programa del fabricante (VMDAS, WINADCP) y los programas basados en Mat Lab.

La información de viento (magnitud y dirección) se obtuvo con un anemómetro manual marca Ames. Los resultados se presentan como distribuciones superficiales y por capas en profundidades estándar.

La transparencia del agua de mar fue determinada mediante un disco Secchi de color blanco, de 30 cm de diámetro.

En la elaboración de los gráficos fue utilizado el programa Surfer 11.

Para los parámetros físicos y químicos se han preparado figuras horizontales y verticales de las 5 secciones oceanográficas, las mismas que se encuentran numeradas de norte a sur (Fig. 1), también se han elaborado 2 secciones paralelas a la costa (aproximadamente a 2 y 5 mn).

La embarcación San Martín de Porras cubrió el mismo trayecto de la embarcación Akimshu, pero tomando muestras para el análisis de DBO_5, microbiología, aceites y grasas, sulfuros, sólidos suspendidos totales y metales y se tomaron muestras triplicadas del fondo para los estudios de bentos y sedimentos.

Para la evaluación de metales pesados en el agua superficial se utilizaron los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, aprobados en el D.S. Nº 002-2008-MINAM y, el contenido de metales pesados en el sedimento se evaluó con la Canadian Environmental Quality Guidelines (Summary of Existing Canadian Environmental Quality Guidelines, December 2003).

En la determinación de metales totales disueltos en agua y metales en sedimentos fue utilizado el método EPA 200.8: 1994 Rev 5.4 Determination of trace elements in waters and wastes by inductively coupled plasma – mass spectrometry.

En esta segunda embarcación se utilizaron redes para fitoplancton (estándar de 75 μm) y zooplancton (baby bongo).

Se obtuvo 16 muestras de fitoplancton superficial (Fig. 2) que complementó a las 16 muestras de agua de mar obtenidas con botellas Niskin a profundidad de 10 m para análisis cuantitativo. Las muestras fueron colectadas mediante arrastres horizontales durante 5 minutos y a 3 nudos de velocidad. La preservación de las muestras se realizó con formalina al 2%. Se obtuvieron los volúmenes de plancton mediante el método de centrifugación a 2400 rpm durante 5 minutos. Para obtener el volumen de plancton se empleó la siguiente ecuación:

$$V = Vc / K$$

Donde:

V = Volumen de plancton

Vc = Volumen de plancton centrifugado (mL)

K = 6.6762 m^3 (Constante que indica el agua filtrada por la red)

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

Para los recuentos celulares se utilizaron las metodologías de Utermöhl (1958) y Throndsen (1978). Se emplearon cámaras con cilindros de sedimentación de 50 mL. Organismos menores a 50 μm y muy abundantes, fueron contados en un área que representa 2 mL de la muestra con aumento de 500x, y organismos mayores a 50 μm y poco abundantes fueron contados en toda la cámara con aumento de 200x. Los resultados son expresados en $Nº x10^3$ $cel.L^{-1}$.

Se realizó el análisis de Similaridad de las muestras a 10 m de profundidad para lo que se utilizó el Índice Bray-Curtis estandarizado previamente al número de individuos Log (x+1), los resultados fueron ordenados en árboles utilizando el programa PRIMER 6 (Clarke et al. 2001). Se graficaron los agrupamientos de las estaciones según la similaridad obtenida, utilizando el programa SURFER 11.

Se colectaron 21 muestras de zooplancton (Fig. 2) mediante la red baby bongo de 0,22 m de diámetro de boca y 2 m de longitud, con mallas de 150 y 300 µm, operada a una velocidad aproximada de 2 nudos en arrastres oblicuos hasta una profundidad máxima de 50 m.

Para conocer el volumen de agua filtrada se colocó en la boca de la red de 150 µm un flujómetro marca Hydrobios con sistema run stop. Las muestras fueron etiquetadas, fijadas con formaldehído al 2% y posteriormente analizadas en el Laboratorio de Zooplancton y Producción Secundaria (LZPS) del IMARPE.

Para obtener los biovolúmenes de zooplancton, se utilizó el método por desplazamiento descrito en Robertson 1970. Para el fraccionamiento de la muestra se utilizó la técnica del beaker (Van Guelpen et al. 1982). Las abundancias fueron expresadas en Nº individuos/100 m^{-3} y los biovolúmenes en $mL.100^{-3}$.

Se efectuaron análisis cualitativo y cuantitativo de las muestras colectadas con la red de 150 µm observando la composición de especies de los diferentes grupos del zooplancton e ictioplancton. La determinación taxonómica del fitoplancton se efectuó en base a Cupp (1943), Hasle y Syversten (1996), Hendey (1964), Husted (1930), Schiller (1937), Steindinger y Tangen (1996), Sournia (1967), para el zooplancton se consultaron los trabajos de Aronés (1997), Quesquén y Ayón (2009) y para el ictioplancton Einarsson y Rojas de Mendiola (1963), Santander y Sandoval de Castillo (1973).

El procesamiento de la información de fitoplancton se hizo en hoja de cálculo Excel para Windows XP, para los índices comunitarios se utilizó el programa Primer versión 6,0. Las cartas de posiciones, distribución de los volúmenes de plancton y abundancia cuantitativa del fitoplancton total fueron elaboradas con el programa SURFER.

Las muestras de sedimento marino fueron colectadas con draga Van Veen de 0,05 m^2 de superficie de colecta, tomándose entre una y tres réplicas por estación. El contenido fue tamizado a través de una malla de 500 µm y preservado en frascos con formol al 10% neutralizado con bórax y teñido con rosa de bengala.

La composición de la comunidad macrozoobentónica se efectuó hasta el menor nivel taxonómico posible. La densidad (número de individuos/0,05 m^{-2}) y la biomasa (peso húmedo expresado en gramos por 0,05 m^{-2}) de los organismos se expresaron al metro cuadrado. Para la determinación de poliquetos se consultó Fauchald (1977) y Hobson y Banse (1981), de moluscos Álamo y Valdivieso (1997), crustáceos Chirichigno (1970) y anfípodos Barnard y Karaman (1991).

La estructura comunitaria se describió teniendo en cuenta densidad, biomasa y número de especies por réplica y estación de muestreo. La abundancia por especie y por estación de muestreo fue utilizada para calcular el índice de diversidad de Shannon -Wiener (H′), el índice de equidad (J′) de Pielou y la dominancia de Simpson (1-lambda′), en todos ellos se usó Log2 (base 2).

Se realizó un análisis multivariado de ordenamiento (nMDS) y de clasificación numérica para determinar el grado de similitud entre estaciones y especies usando el método de clasificación jerárquica aglomerativa con media ponderada (grupo par no ponderado con promedio aritmético UPGMA) (Sneath y Sokal 1973) con el índice de Bray-Curtis. Se hizo transformación de las abundancias a Ln(X+1).

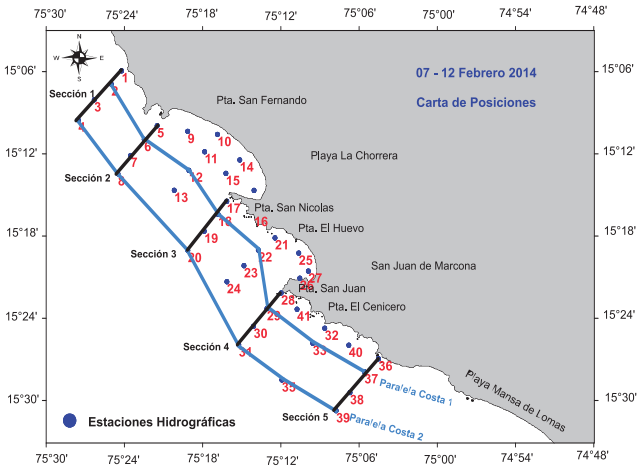


Figura 1.- Estaciones hidrográficas, San Juan. 2014

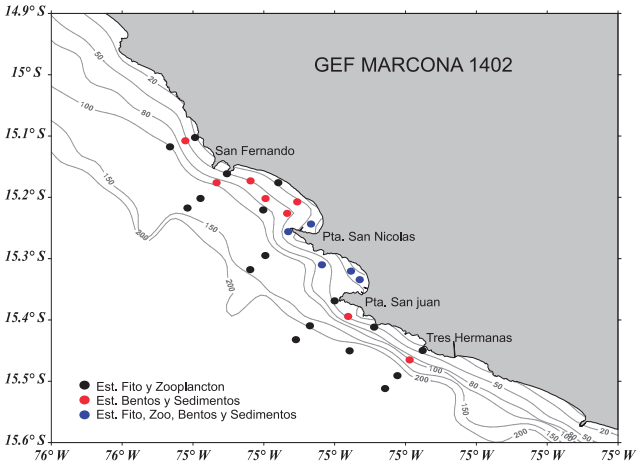


Figura 2.- Estaciones de muestreo para fitoplancton, zooplancton, bentos y sedimentos, San Juan. 2014

Se colectaron 6 muestras de sedimentos superficiales distribuidas y localizadas frente a la línea de costa y perfiles perpendiculares a ésta. En la zona de estudio las estaciones de muestreo se localizaron en seis perfiles entre la zona de San Juan de Marcona y punta San Fernando. Las profundidades de muestreo variaron entre 10 y 95 m. Los análisis granulométricos se realizaron con tamices para las fracciones de grava y arena según Ingram (1971) y la fracción fina fue considerada como una sola (limo + arcilla) por diferencia de peso. En base a los resultados de la granulometría se realizó la clasificación de texturas empleando el diagrama de Folk (1974). Los análisis de materia orgánica y carbonatos totales se efectuaron mediante la pérdida de peso por ignición según Dean (1974). Se utilizó hoja de cálculo de Excel y minitab vers. 16.

3. RESULTADOS

Aspectos físico-oceanográficos en la superficie del mar

Temperatura superficial

La temperatura superficial fluctuó entre 14,42 °C (Est. 1) y 17,92 °C (Est. 20) valores costeros normales, cuya distribución paralela a la costa fue fraccionada hacia el interior de la bahía San Nicolás por una advección de la isoterma de 17 °C, asociada a ligera mezcla con Aguas Subtropicales Superficiales (ASS). Valores menores de 16 °C se ubicaron próximos a la costa tanto al norte como al sur de la bahía San Nicolás (Fig. 3).

Salinidad superficial

Fluctuó entre 34,92 y 35,076 ups, predominando valores <35,0 ups a lo largo de la zona costera. La isohalina de 35,00 ups mostró distribución muy similar a la isoterma de 17 °C, delimitando las aguas de mezcla (35,0-35,01 ups) (Morón 2011). Presencia de valores de mezcla es indicativo de que Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) estuvieron próximas a la costa en febrero 2014 (Fig. 4).

Aspectos físico-oceanográficos en la columna de agua

La sección 1, al norte del área de estudio, presentó características propias de aguas de afloramiento. Las temperaturas de 15 y 16 °C (que afloran a superficie) se registraron sobre 20 m de profundidad, la de 14 °C se ubicó alrededor de 40 m de profundidad; la salinidad mostró valores entre 34,97 y 34,99 ups (Fig. 5) y el oxígeno presentó concentraciones de 2, 3 y 4 mL/L (que afloran a superficie), mientras que la mínima de oxígeno (0,5 mL/L) se ubicó alrededor de 20 m de profundidad.

En las secciones 2 y 3, en superficie estuvieron más elevados la temperatura (>17 °C), salinidad (>35,0 ups) y oxígeno (>5,0 mL/L), relacionado con la aproximación de aguas oceánicas a la bahía; la isoterma de 14 °C se ubicó por debajo de los 60 m fuera de las 5 mn, ascendiendo cerca a la costa a 10 m en la sección 2 y a 45 m en la sección 3 (Figs. 6, 7). La mínima de oxígeno se ubicó alrededor de 30 y 50 m en las secciones 2 y 3, respectivamente.

La sección 4 (Fig. 8) mostró la transición de las condiciones ligeramente anómalas observadas en las secciones 2 y 3 hacia las condiciones típicas de afloramiento registradas en la sección 5 (Fig. 9). En esta sección, de temperatura y salinidad homogénea, la isoterma de 15 °C se ubicó cerca a la costa sobre

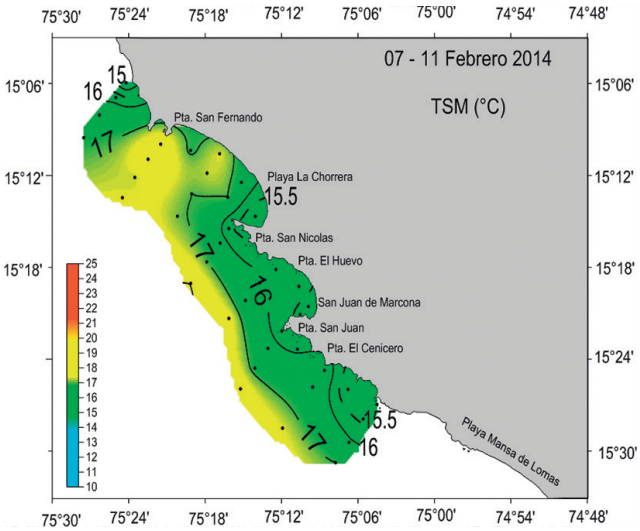


Figura 3.- Distribución de la temperatura superficial del mar, San Juan. Febrero 2014

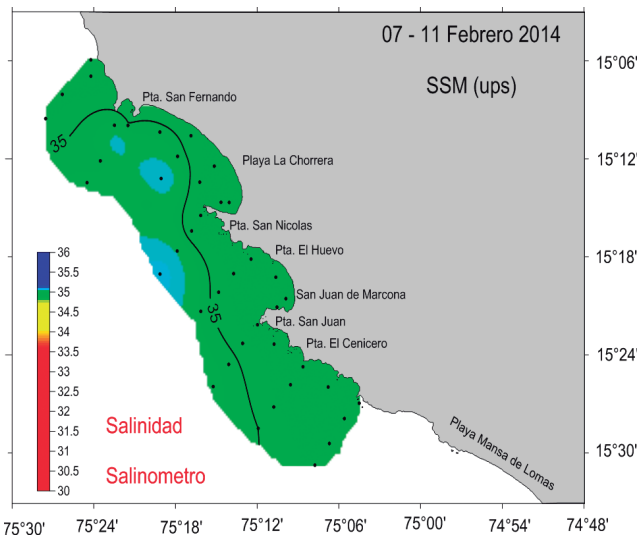


Figura 4.- Distribución de la salinidad superficial del agua de mar, San Juan. Febrero 2014

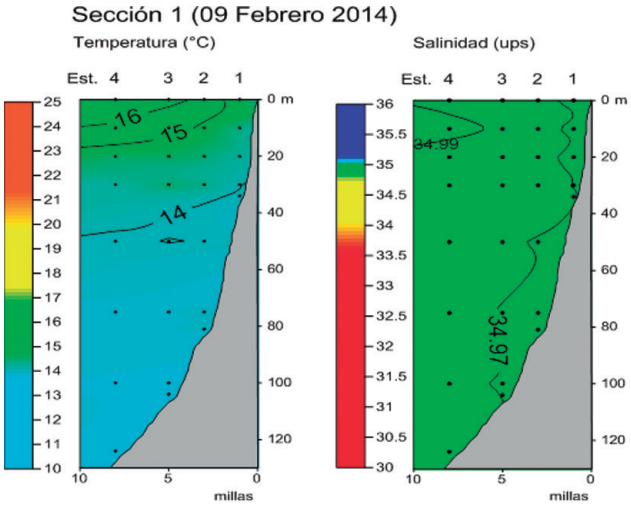


Figura 5.- Distribución vertical Temperatura, Salinidad, San Juan. Febrero 2014

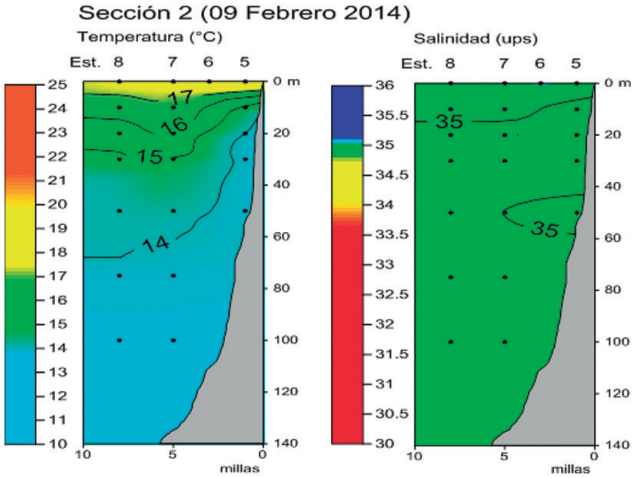


Figura 6.- Distribución vertical en la sección 2: Temperatura, Salinidad. San Juan. Febrero 2014

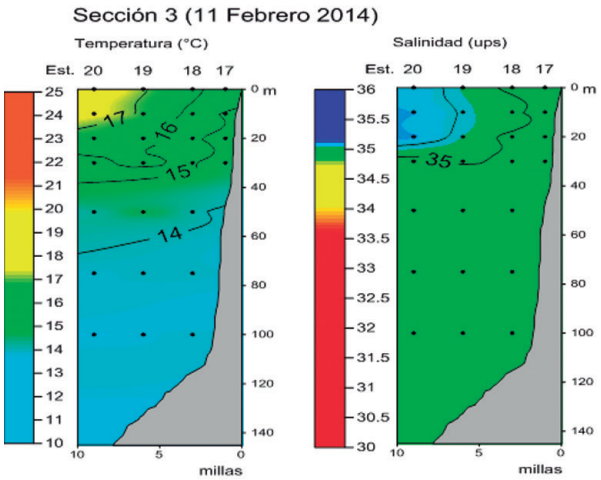


Figura 7.- Distribución vertical en la sección 3: Temperatura, Salinidad. San Juan. Febrero 2014Febrero 2014

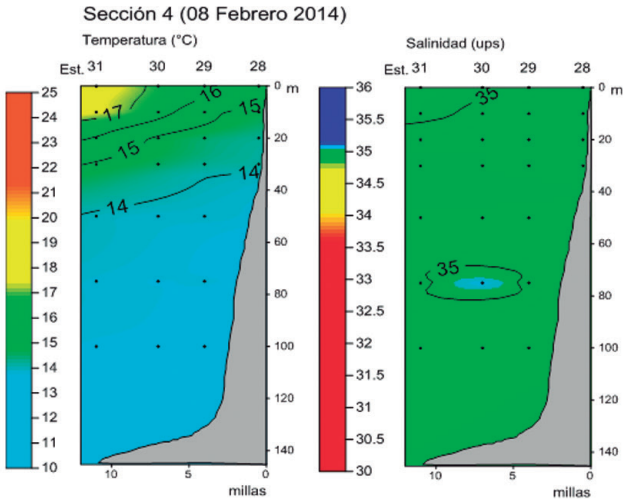


Figura 8.-Distribución vertical en la sección 4: Temperatura, Salinidad. San Juan. Febrero 2014

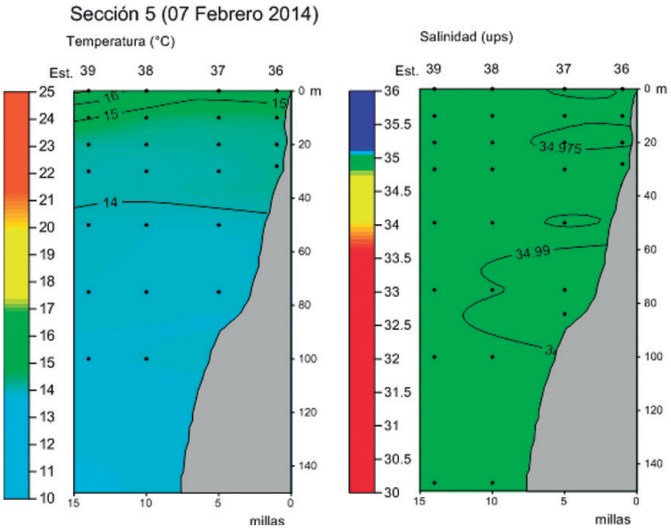


Figura 9.- Distribución vertical en la sección 5: Temperatura, Salinidad. San Juan. Febrero 2014

los 5 m de profundidad y la de 14 °C se observó ligeramente debajo de los 40 m; la salinidad estuvo muy próxima a 35,0 ups. Las iso-oxígenas de 3 a 1 mL/L estuvieron sobre los 10 m y, la mínima de oxígeno con ligera profundización (23 m) cerca a la costa.

Secciones paralelas a la costa

La sección 1, distante 2 mn de la costa, presentó predominancia de ACF a excepción de una pequeña capa sobre los 10 m y entre las estaciones 2 y 22 donde se observó ligera mezcla asociada a la presencia de ASS. En las mismas estaciones (centro-norte) la isoterma de 14 °C se ubicó alrededor de los 50 m, mientras que en las estaciones 29 a 37 (centro-sur) ascendió hasta los 30 m aproximadamente, indicativo del desarrollo del afloramiento (Fig. 10). Las salinidades presentaron valores muy homogéneos variando de 34,7 a 35,0 ups (Fig. 10). El oxígeno disuelto presentó valores menores de 4 mL/L, con la mínima entre 45 y 30 m de profundidad, ubicándose la de menor profundidad en la zona centro–sur.

La sección 2 (aproximadamente a 5 mn de la costa) mostró mayor presencia de mezcla en la capa superficial. Las temperaturas y salinidades mayores de 17 °C y 35,5 ups se ubicaron en la zona central del área de estudio hasta 20 m de profundidad, mientras que la isoterma de 14 °C se presentó horizontal alrededor de los 40 m de profundidad (Fig. 11). Solo en los extremos del área de estudio se observó ligera tendencia al afloramiento. Con excepción de la mezcla descrita, esta sección fue muy homogénea con valores entre 34,8 y 35,0 ups.

Corrientes marinas

En las figuras 12 a 16 se muestra la distribución espacial de corrientes marinas por capas (capa de 1, 5, 10, 15, 20 m) distribuidas mediante su campo vectorial en la horizontal.

Las corrientes marinas en la capa superficial registraron intensidades que variaron entre 4,4 y 43,7 cm/s, con promedio de 21,5 cm/s. Las velocidades se intensificaron de sur a norte frente a las puntas San Juan y San Fernando siguiendo el campo de flujo paralelo a la línea costera (Fig. 12). Al sur de punta San Juan los flujos divergen uno con dirección norte y otro al oeste, notándose un flujo entrando a la bahía frente a punta San Nicolás.

Las corrientes marinas a 5 m de profundidad presentaron flujos con intensidades que variaron entre 4,1 y 42,33 cm/s con promedio de 19,8 cm/s (Fig. 13), notándose un cambio de dirección en la zona sur frente a punta San Juan y un flujo de mayor intensidad ingresando a la bahía frente a punta San Nicolás.

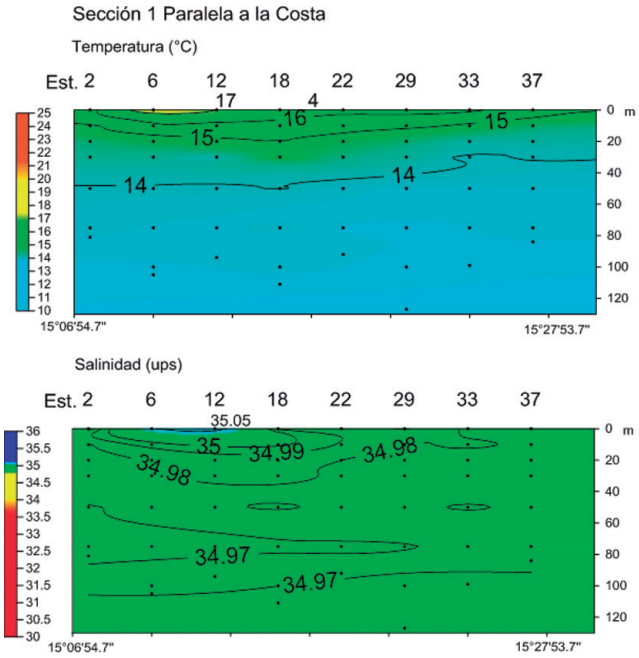


Figura 10.- Distribución vertical en la sección paralela 1 (Aprox. 2 mn de costa). Temperatura, Salinidad. San Juan. Febrero 2014

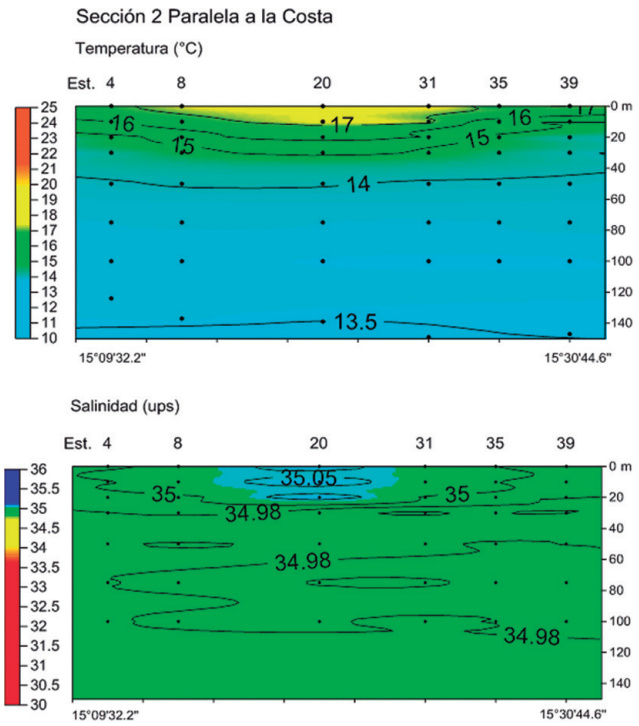


Figura 11.- Distribución vertical en la sección paralela 2 (Aprox. 5 mn de costa). Temperatura, Salinidad. San Juan. Febrero 2014

La figura 14 muestra el campo de velocidad vectorial promediada a 10 m de profundidad, con intensidades de 3,4 y 42,5 cm/s, promedio de 17,6 cm/s, la variabilidad en la dirección de las corrientes estuvo asociada a la presencia de una circulación

convergente en la zona central entre las puntas San Fernando y San Nicolás intensificándose al interior de la bahía por efecto de la configuración del fondo. Se observa la distribución de velocidades con flujo hacia el norte en la zona de intercambio con el océano abierto tanto frente a punta San Fernando como frente a punta San Juan.

Las intensidades de las corrientes marinas en la capa de 15 m (Fig. 15) registraron valores entre 3,9 y 45,6 cm/s con promedio de 18,9 cm/s. El campo de distribución vectorial presentó flujos de mayor intensidad ingresando a la bahía por el centro entre las puntas San Fernando y San Nicolás. En la zona central entre las puntas San Juan y San Nicolás se notó presencia de vorticidades horarias de intercambio de flujo por efectos de fricción y topografía del fondo; mientras que en la capa de 20 m (Fig. 16) se registraron valores entre 4,89 y 42,91 cm/s, promedio de 17,5 cm/s. El campo de distribución vectorial mostró intercambio de flujo por efectos de convergencia y divergencia debido a la irregularidad que presenta la topografía del fondo.

Aspectos químico-oceanográficos en superficie

Oxígeno, pH, clorofila-a y transparencia

El oxígeno a nivel superficial varió entre 1,71 y 5,67 mL/L con promedio 4,04 mL/L. La zona más oxigenada estuvo entre punta San Fernando y norte de La Chorrera con concentraciones de 5,5 mL/L, las concentraciones más bajas se localizaron entre Playa La Chorrera y sur de punta El Cenicero y, un pequeño núcleo al norte de punta San Fernando los valores variaron entre 3 y 4 mL/L que son propios de aguas de afloramiento (Fig. 17a).

El pH en la superficie estuvo entre 7,70 y 8,09 mostrando el mismo comportamiento que el oxígeno disuelto. Se observó una amplia franja entre punta San Fernando y playa La Chorrera, angostándose frente a punta San Nicolás hasta el sur de punta El Cenicero con concentraciones de 7,9 y 8,0. Valores menores a 7,9 se ubicaron entre punta San Nicolás y el sur de punta Cenicero frente a la línea costera (Fig. 17b).

La clorofila-a fluctuó entre 0 y 1,89 μg/L con el valor más alto frente a San Juan y el más bajo al sur de punta San Juan. La clorofila se caracterizó por presentar concentraciones menores a 1 μg/L en gran parte del área de estudio (Fig. 17c).

La transparencia del agua de mar varió entre 2 y 8 m, con predominio de valores altos (> 5), que estuvieron asociados a las concentraciones menores a 1 μ/L de clorofila-a (Fig. 17d).

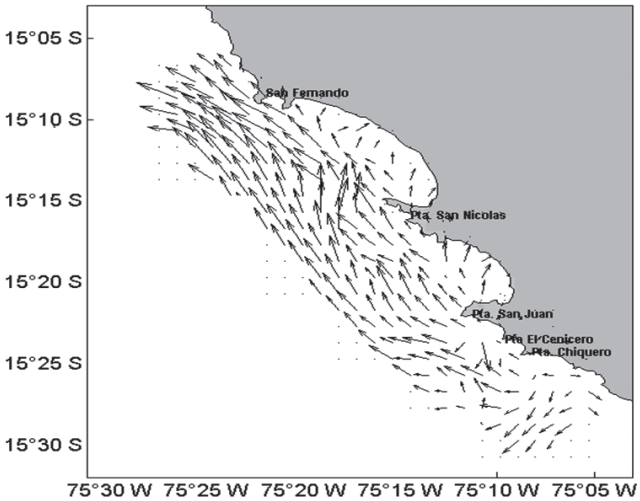


Figura 12.- Corrientes marinas, capa 1 m de profundidad. San Juan. Febrero 2014

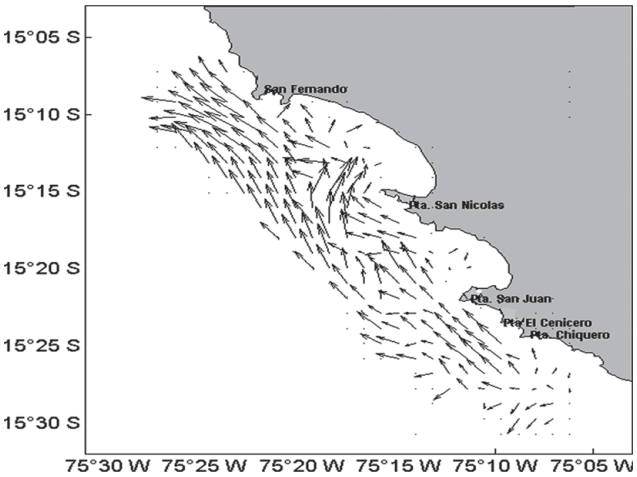


Figura 13.- Corrientes marinas, capa de 5 m de profundidad. San Juan. Febrero 2014

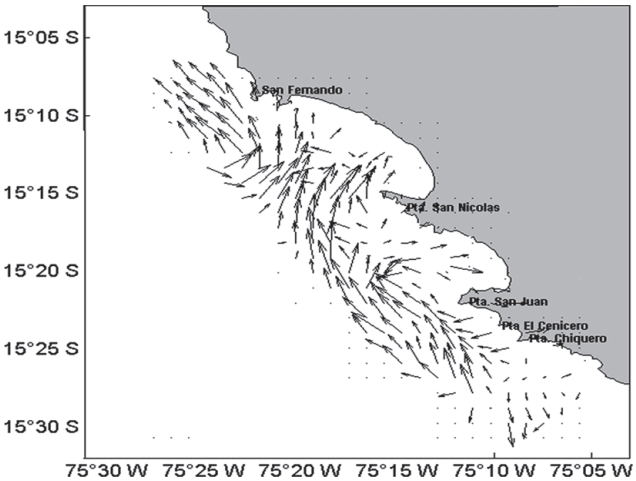


Figura 14.- Corrientes marinas, capa de 10 m de profundidad. San Juan. Febrero 2014

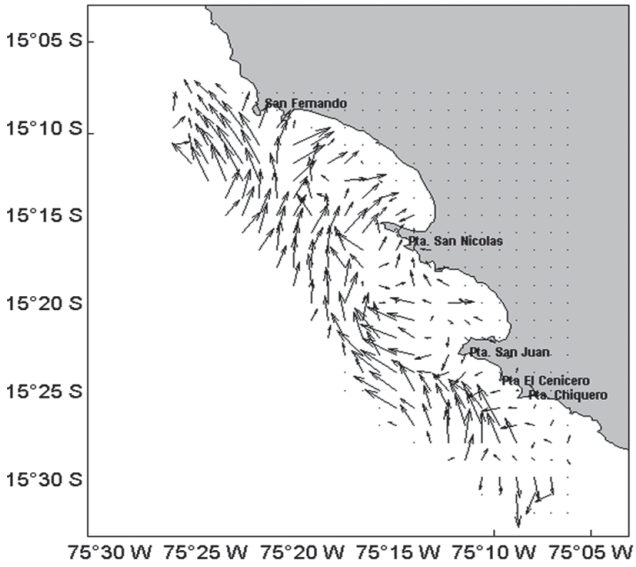


Figura 15.- Corrientes marinas, capa 15 m de profundidad. San Juan. Febrero 2014

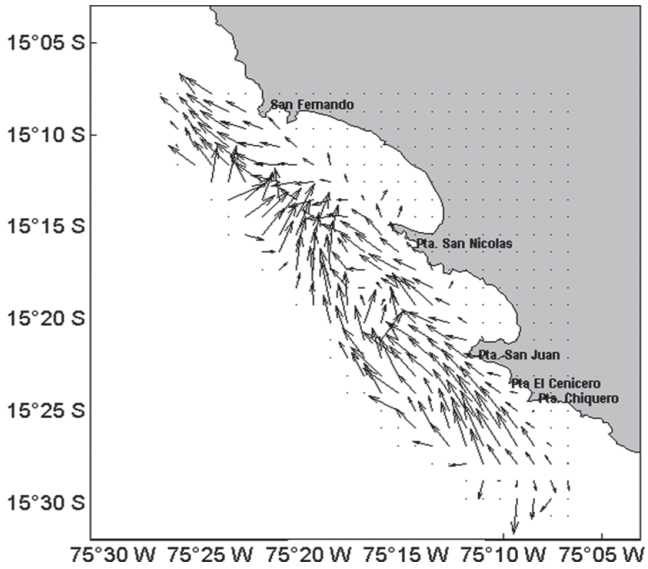


Figura 16.- Corrientes marinas, capa 20 m de profundidad, San Juan. Febrero 2014

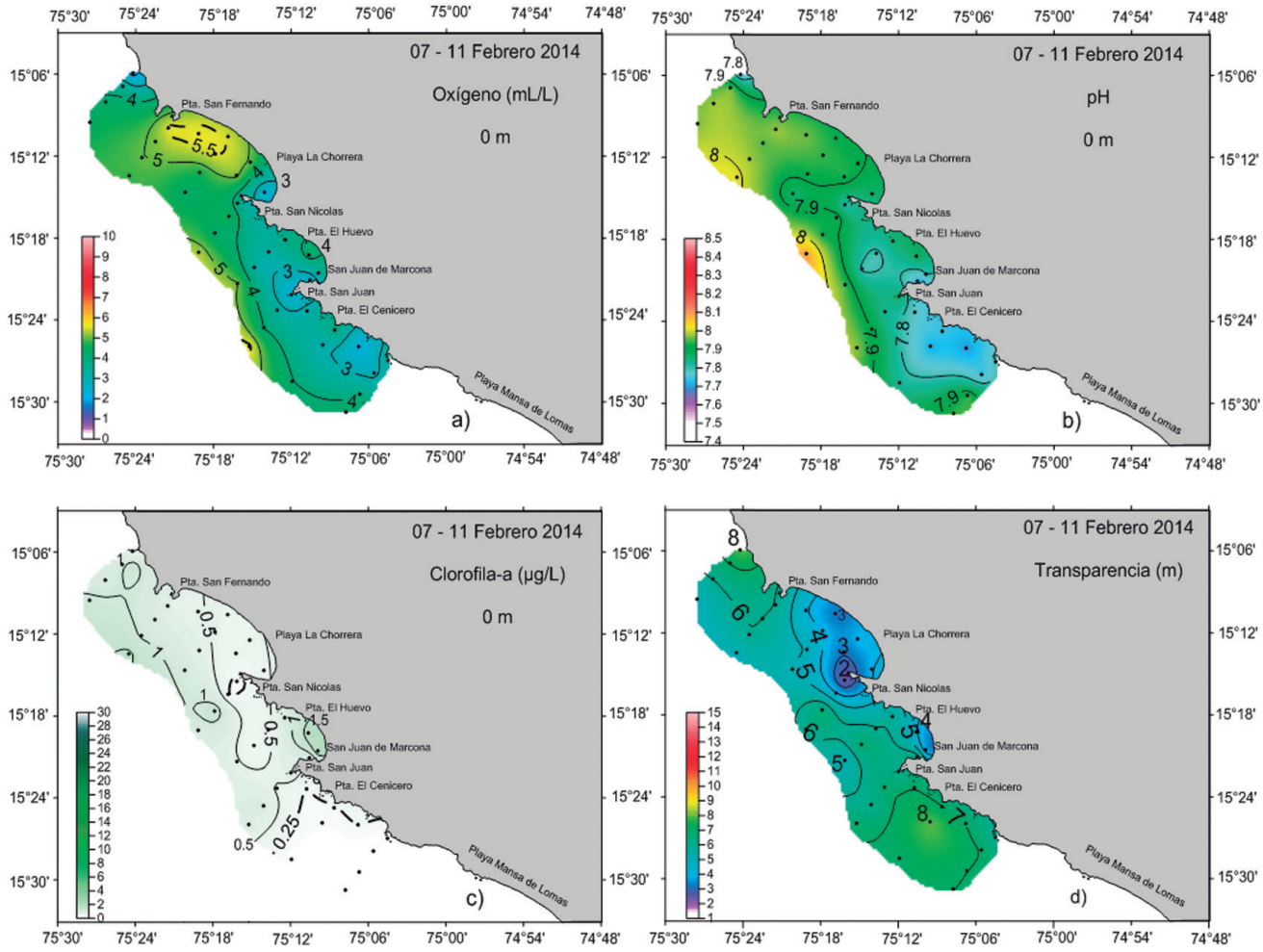


Figura 17.- Distribución superficial de a) Oxígeno, b) Clorofila-a, c) pH, d) Transparencia. San Juan. Febrero 2014

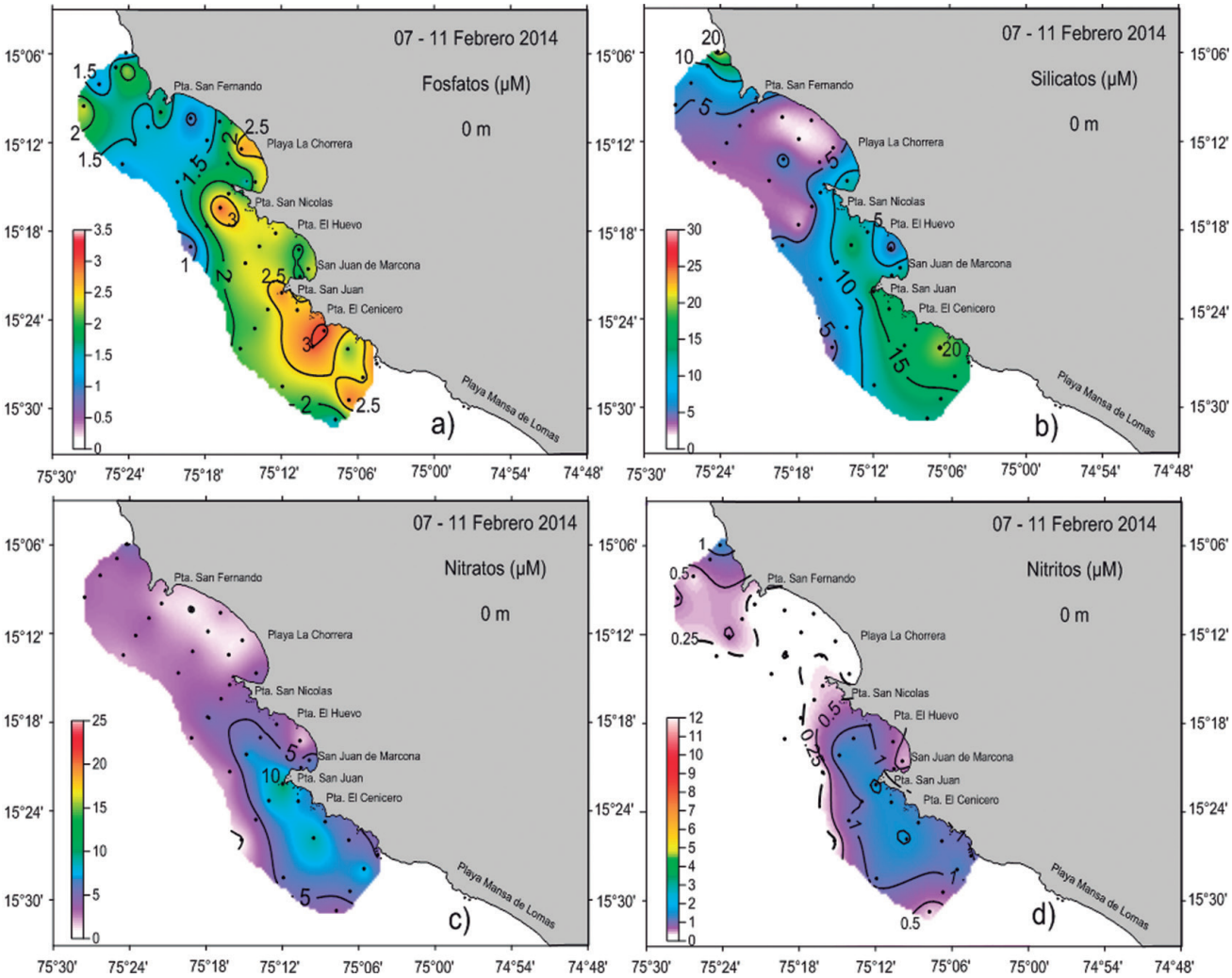


Figura 18.- Distribución superficial de nutrientes: a) Fosfatos, b) Silicatos, c) Nitratos y d) Nitritos. San Juan. Febrero 2014

Nutrientes

A nivel superficial los fosfatos variaron entre 0,71 y 3,12 µM, con promedio 2,03 µM, valores que se encontraron dentro de los rangos normales; sin embargo, se apreciaron dos áreas, la de concentración de 1,5 µM al norte de punta San Nicolás y la de concentraciones mayores a 2,5 µM al sur de playa La Chorrera, los que estuvieron asociados a temperatura menor de 16 °C (Fig. 18a). Respecto a los silicatos variaron entre 1,81 y 21,75 µM presentando la misma distribución que los fosfatos (Fig. 18b).

Los nitratos variaron entre 0,76 y 10,02 µM, con distribución irregular, observándose concentraciones menores a 5 µM al norte de punta El Huevo, las mayores concentraciones de 5 a 10 µM se localizaron entre punta El Huevo y sur de punta Cenicero (Fig. 18c). Los nitritos variaron de 0,02 a 1,67 µM (Fig. 18d).

Distribución de las variables químicas a nivel de fondo

Oxígeno y pH

El oxígeno varió entre 0,09 y 2,01 mL/L, la mínima (0,5 mL/L) tuvo amplia distribución encontrándose entre las puntas San Fernando y El Cenicero. Un núcleo de 2 mL/L se localizó frente a punta San Juan (Fig. 19a).

El pH varió entre 7,56 y 7,86 con promedio de 7,65; las mayores concentraciones (7,7 y 7,8) se hallaron entre punta San Fernando y playa La Chorrera (Fig. 19b).

Nutrientes

Los fosfatos mostraron concentraciones dentro de rangos normales, a excepción de un pequeño núcleo con valores >3,5 µM frente a punta El Cenicero (Fig. 20a). Las concentraciones de

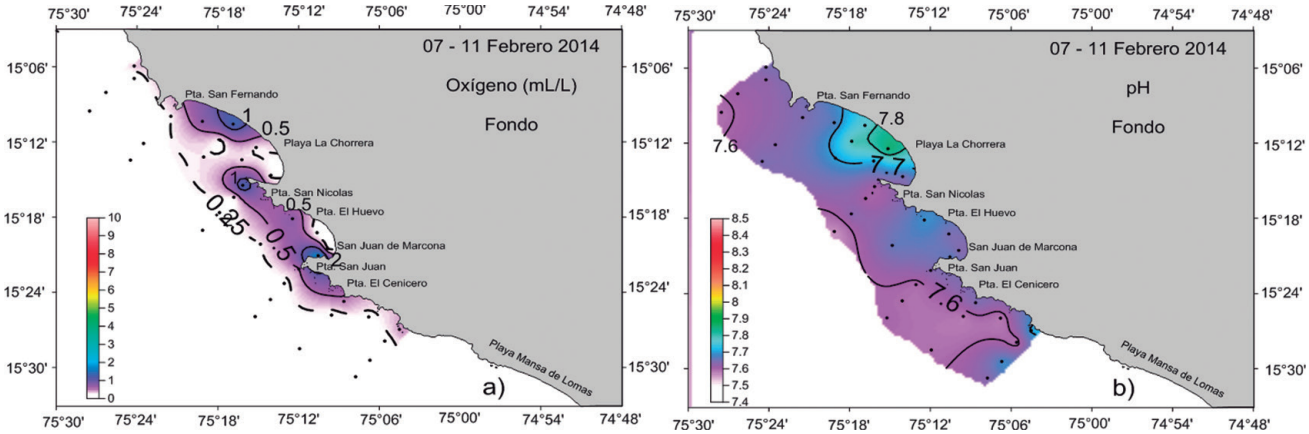


Figura 19.- Distribución a nivel de fondo de a) Oxígeno y b) pH. San Juan. Febrero 2014

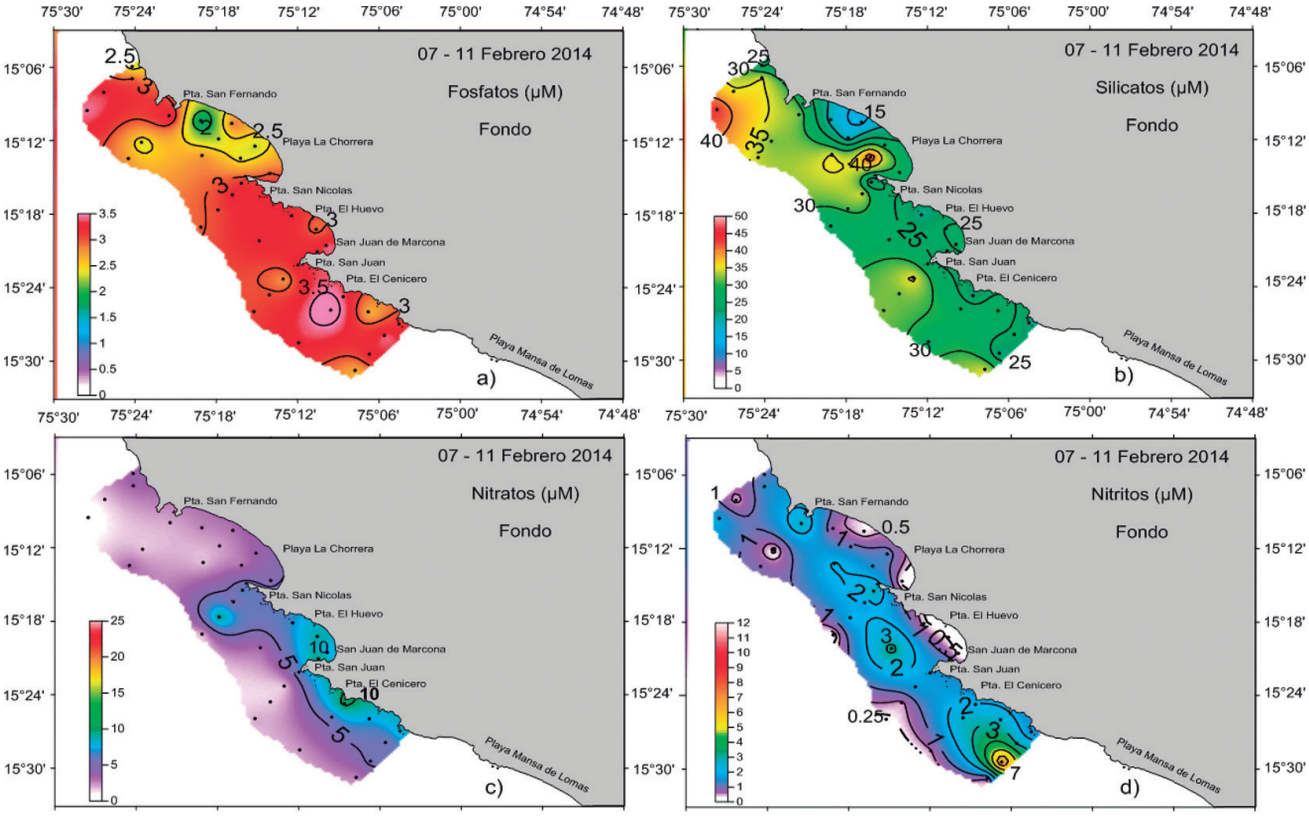


Figura 20.- Distribución en fondo de a) Fosfatos, b) Silicatos, c) Nitratos y d) Nitritos. San Juan. Febrero 2014

silicatos fueron altas (15 – 40 µM) en comparación con otras bahías debido a que el área de estudio es una zona profunda y tiene mayor aporte de nutrientes (Fig. 20b). Con relación a los nitratos se encontraron concentraciones >5 µM entre las puntas San Nicolás y El Cenicero, y entre punta San Fernando y norte de punta San Nicolás se registraron menores concentraciones (<5 µM) (Fig. 20c). En nitritos el rango fue de 0,01 a 7,11 µM con promedio 1,43 µM, el máximo de nitritos se encontró al sur de punta El Cenicero (Fig. 20d).

Distribución de las variables químicas en la capa vertical

Sección 1

El oxígeno presentó concentraciones <4 mL/L que son propios de aguas de afloramiento, observándose el ascenso de las iso-oxígenas de 2, 3 y 4 mL/L hacia la superficie, mientras que la mínima de oxígeno (0,5 mL/L) se ubicó a 20 m de profundidad (Fig. 21a).

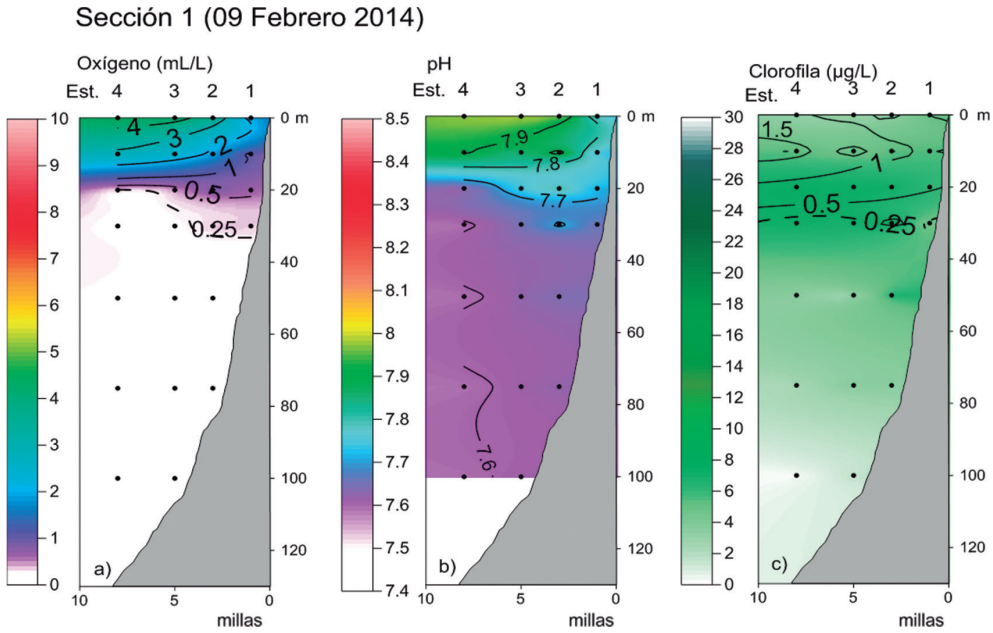


Figura 21.- Distribución vertical de a) Oxígeno, b) pH y c) Clorofila-a. San Juan. Febrero 2014

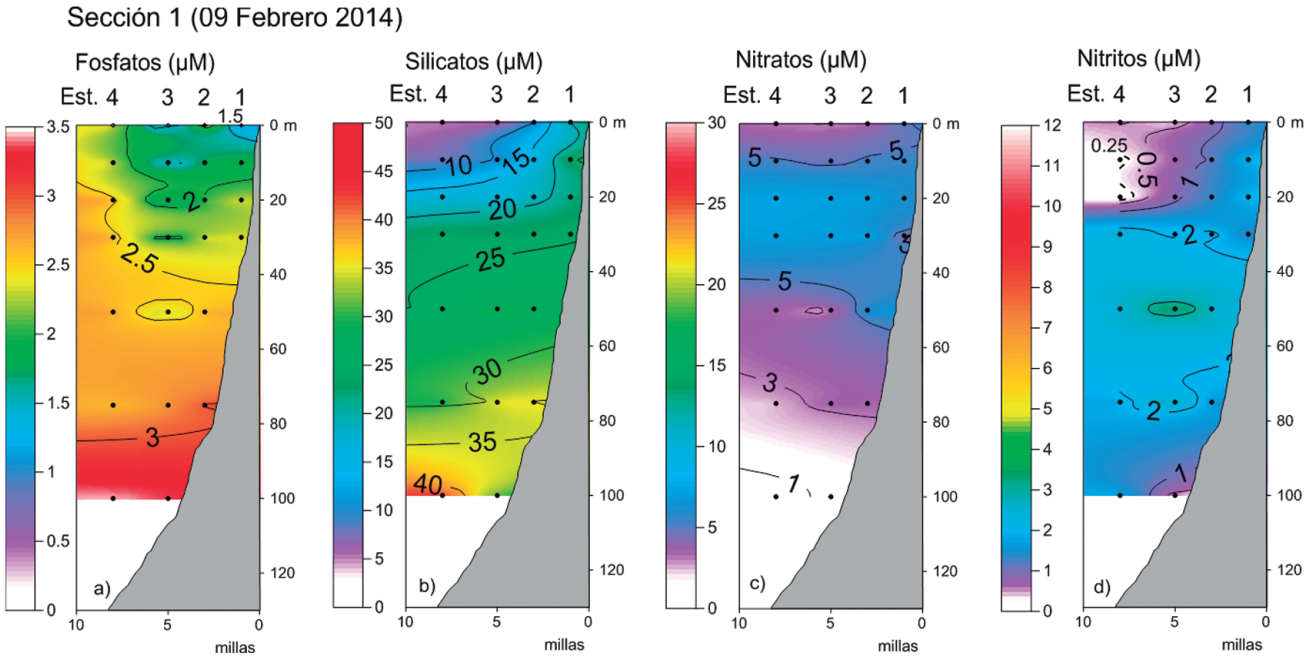


Figura 22.- Distribución vertical de a) Fosfatos, b) Silicatos, c) Nitratos y d) Nitritos. San Juan. Febrero 2014

El pH varió entre 7,6 y 7,9. Por encima de 20 m las concentraciones se encontraron entre 7,7 y 7,9; entre 20 y 100 m de profundidad se encontró una zona homogénea que estuvo asociada a concentraciones menores a 0,5 mL/L de oxígeno (Fig. 21b).

La clorofila-a mostró las mayores concentraciones (1 – 1,5 µg/L) en la capa de 0 a 20 m, por debajo de 20 m la distribución fue pobre (<0,5 µg/L) (Fig. 21c).

Los nutrientes, como fosfatos y silicatos se incrementaron con la profundidad; los nitratos debido a los procesos de óxido-reducción disminuyeron por debajo de 50 m estando en relación con la mayor concentración de nitritos (1 µM) (Fig. 22).

Sección 2

El oxígeno estuvo más elevado (>5 mL/L) dentro de las 5 mn, asociado a temperaturas mayores de 17 °C y salinidad de 35 ups. Por debajo de 10 m, se encontró una oxiclina formada por 4 iso-oxígenas (1 - 4 mL/L). La mínima de oxígeno se localizó entre 30 y 35 m (Fig. 23a).

El pH presentó distribución muy similar al oxígeno, mayores valores se encontraron por encima de 20 m, decreciendo en forma gradual y estratificada por debajo de 25 m (Fig. 23b).

La clorofila-a, al igual que en la sección 1, mostró altas concentraciones por encima de 30 m. Un núcleo de 1,75 µg/L se localizó a 30 m y a 5 mn de la costa (Fig. 23c).

El rango de fosfatos en la columna de agua fue de 1,5 y 3 µM mostrando distribución ascendente; los silicatos presentaron características similares, sin embargo, en la capa de 0 a 10 m se encontraron concentraciones menores a 5 µM, posiblemente debido al consumo por especies fitoplanctónicas (Fig. 24a, b).

Las concentraciones de nitratos mayores a 5 µM se localizaron por debajo de los 10 m y por fuera de las 4 mn. Las concentraciones fueron menores a 5 µM por fuera de esta área. Los nitritos mostraron una capa homogénea con valores de 1 a 2 µM la misma que estuvo en relación con las concentraciones menores a 5 µM de nitratos (Fig. 24c, d).

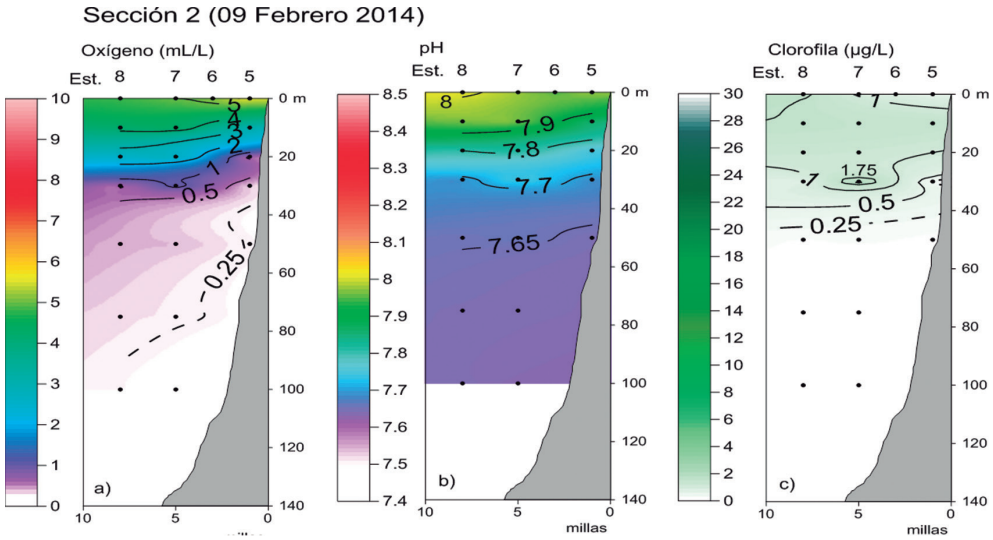


Figura 23.- Distribución vertical de: a) Oxígeno, b) pH y c) Clorofila-a. San Juan. Febrero 2014

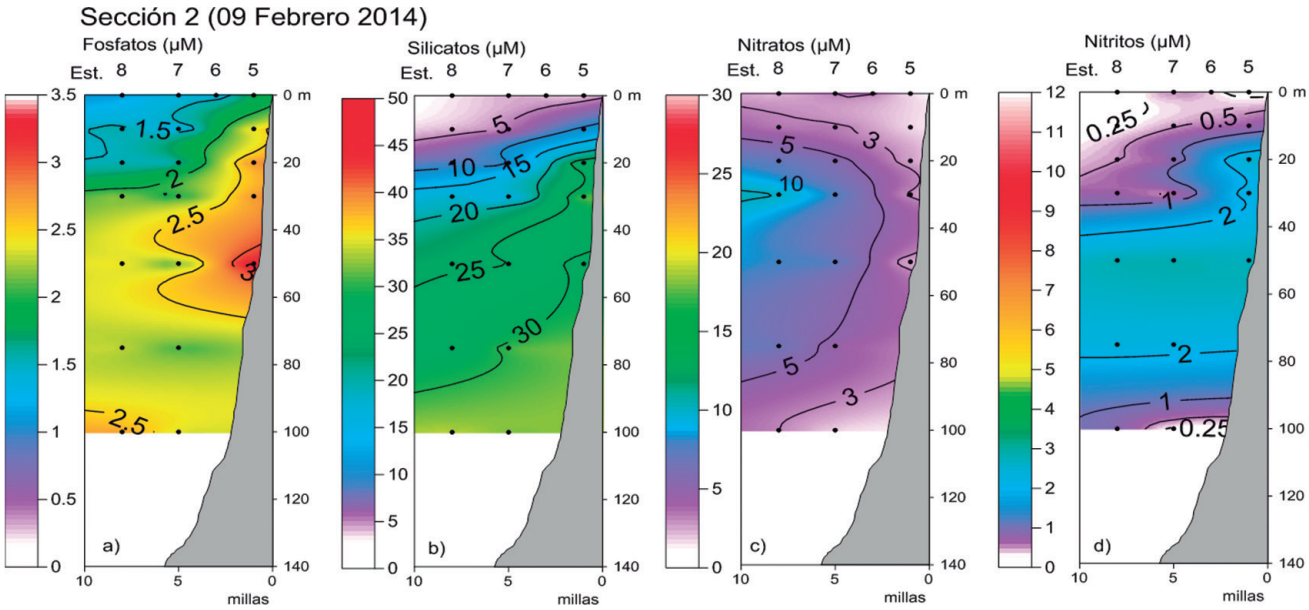


Figura 24.- Distribución vertical de a) Fosfatos, b) Silicatos, c) Nitratos y d) Nitritos. San Juan. Febrero 2014

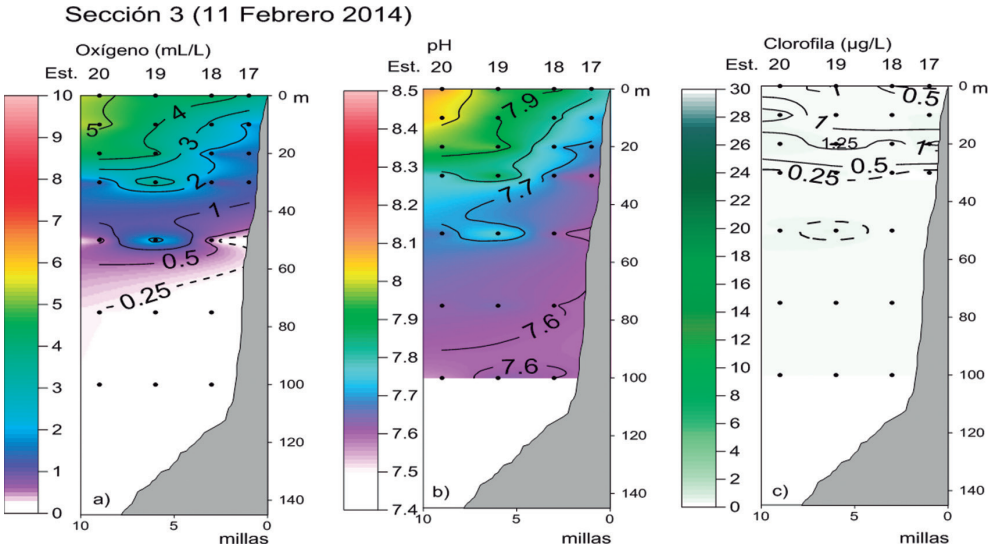


Figura 25.- Distribución vertical de a) Oxígeno, b) pH y c) Clorofila-a. San Juan. Febrero 2014

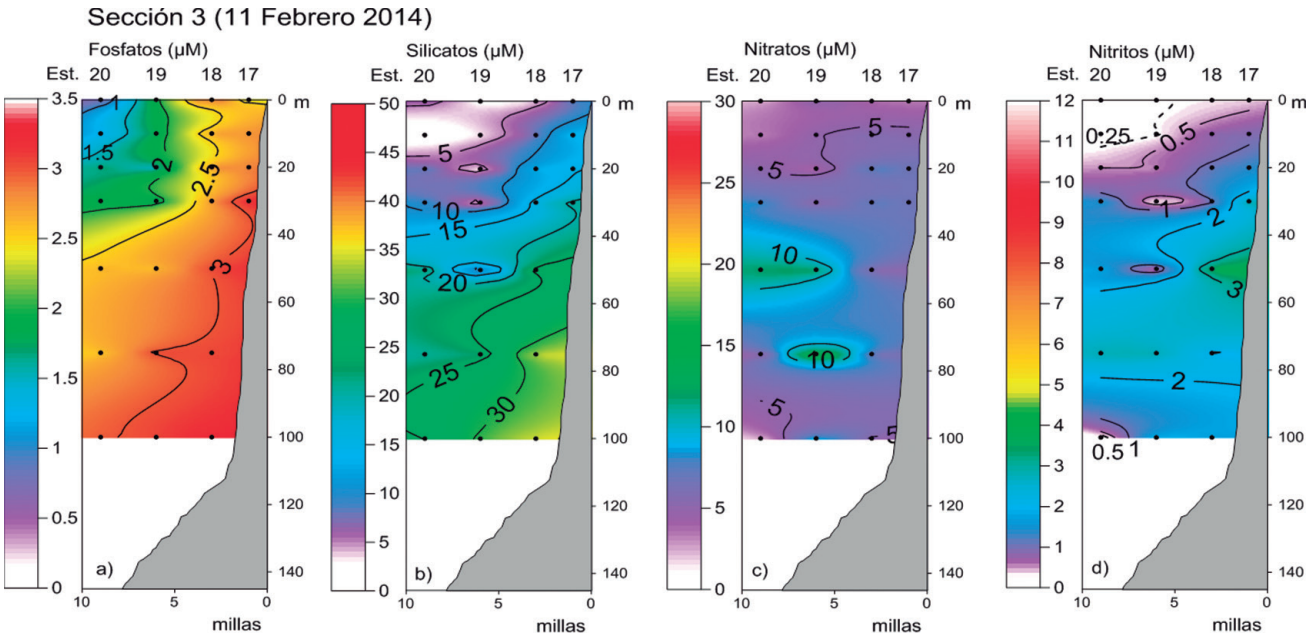


Figura 26.- Distribución vertical de a) Fosfatos, b) Silicatos, c) Nitratos y d) Nitritos. San Juan. Febrero 2014

Sección 3

Esta sección correspondió a la zona central del área de estudio. Se encontró un núcleo de 5 mL/L de oxígeno por fuera de las 6 mn, lo que coincidió con temperatura y salinidad, y se pudo observar la advección de las aguas oceánicas (Fig. 25a).

El pH tuvo distribución muy semejante al oxígeno, la isolínea de 7,6 se encontró entre los 30 y 90 m, isolínea que no se observó en la Sección 2 ya que se detectó más profunda (Fig. 25b).

La clorofila-a registró 1 µg/L en una capa delgada, por fuera de esa capa las concentraciones fueron menores (<0,5 µg/L) (Fig. 25c).

Los fosfatos se incrementaron en la columna de agua, la isolínea de 2,5 µM alcanzó la superficie. La isolínea de 3 µM se encontró entre 30 y 100 m de profundidad y dentro de las 8 mn (Fig. 26a).

La isolínea de 5 µM de silicatos se encontró entre 0 y 15 m debido a aguas de mezcla (Fig. 26b) y solo se registraron dos núcleos de 10 µM de nitratos; los nitritos variaron de 0,25 a 3,0 µM (Fig. 26c, d).

Sección 4

El oxígeno presentó iso-oxígenas de 3 a 1 mL/L sobre los 10 m y se registró la mínima de oxígeno cerca de la costa con ligera profundización (23 m) (Fig. 27a).

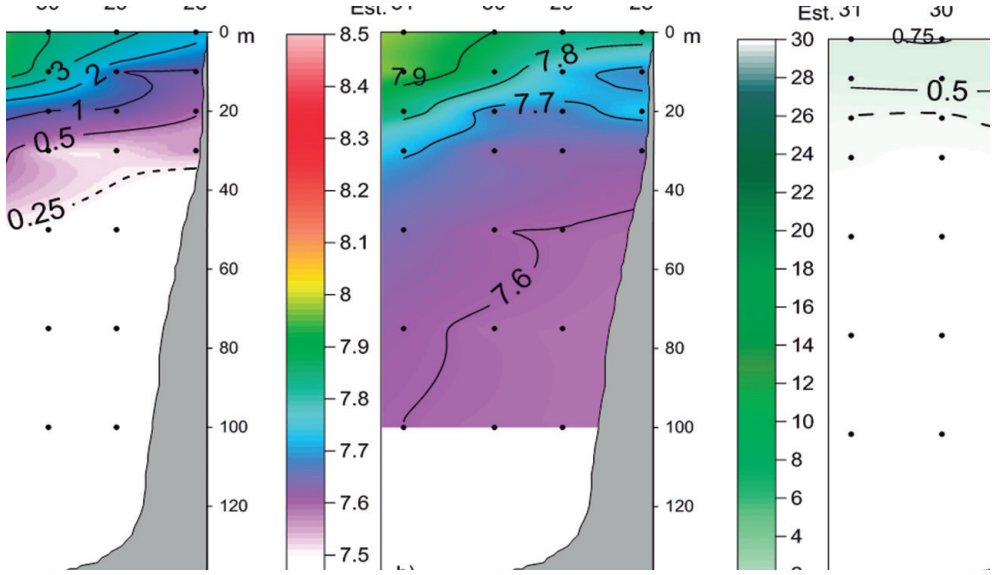


Figura 27.- Distribución vertical de a) Oxígeno, b) pH y c) Clorofila-a. San Juan. Febrero 2014

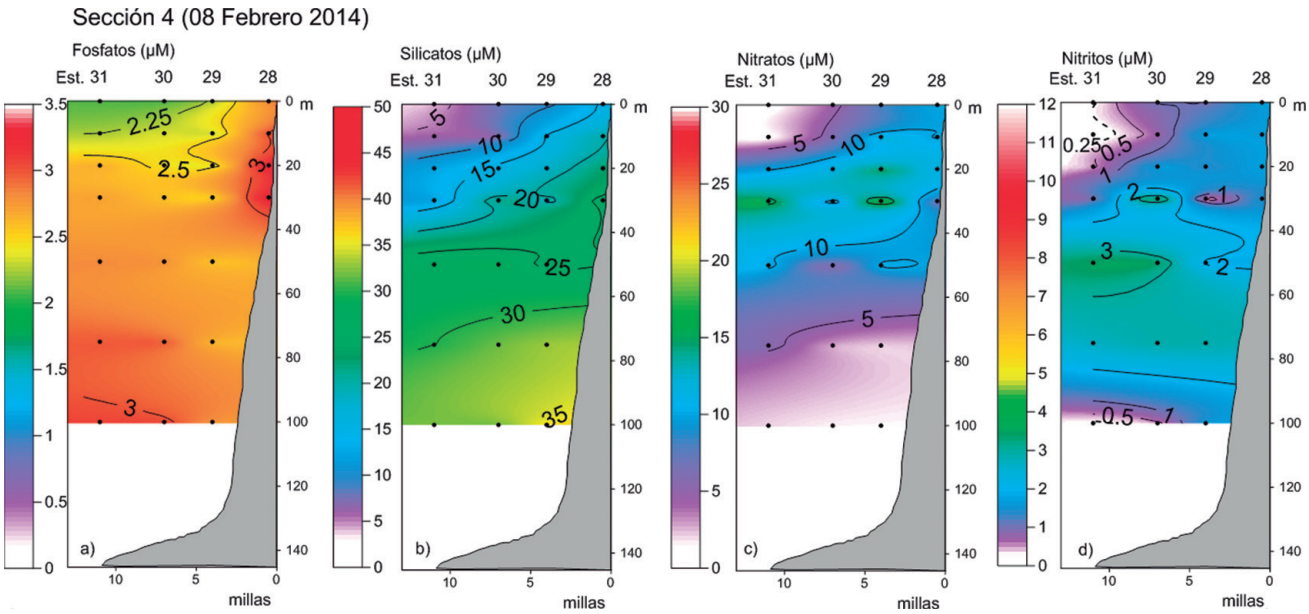


Figura 28.- Distribución vertical de a) Fosfatos, b) Silicatos, c) Nitratos y d) Nitritos. San Juan. Febrero 2014

El pH estuvo en estrecha relación con el oxígeno mostrando características similares, en cambio la clorofila-a no guardó esta correspondencia, las concentraciones fueron bajas (<0,75 µg/L) en toda la columna de agua (Fig. 27b, c).

Los fosfatos mostraron una capa homogénea dentro de las 5 mn (2,5 – 3,0 µM), ampliándose por debajo de 20 m, dentro de las 12 mn alcanzaron 100 m de profundidad (Fig. 28a). En cambio, los silicatos presentaron características diferentes, incrementándose de acuerdo con la profundidad (Fig. 28b). Los nitratos y nitritos estuvieron en estrecha relación; al igual que en las otras secciones los nitratos fueron afectados por los procesos de óxido-reducción aunque en menor proporción respecto a las demás secciones (Figs. 28c, 28d).

Sección 5

Por encima de los 10 m se hallaron 3 isolíneas (1 – 3 mL/L); la iso-oxígena de 1 mL/L estuvo asociada a la isoterma de 15 °C que se presentó superficial por el ascenso de aguas más frías (14 °C). La mínima de oxígeno se halló entre 15 y 20 m (Fig. 29a).

El pH mostró tres isolíneas (7,7 – 7,9), la isolínea de 7,7 estuvo asociada a la iso-oxígena de 0,5 mL/L determinando el área de menores concentraciones de oxígeno. Entre 10 y 100 m se registró una capa homogénea de pH (Fig. 29b).

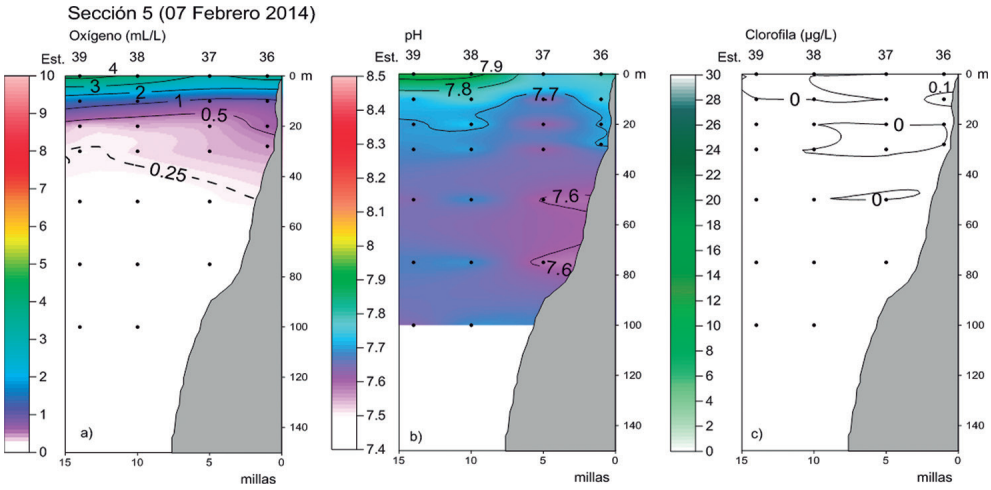


Figura 29.- Distribución vertical de a) Oxígeno, b) pH y c) Clorofila-a. San Juan. Febrero 2014

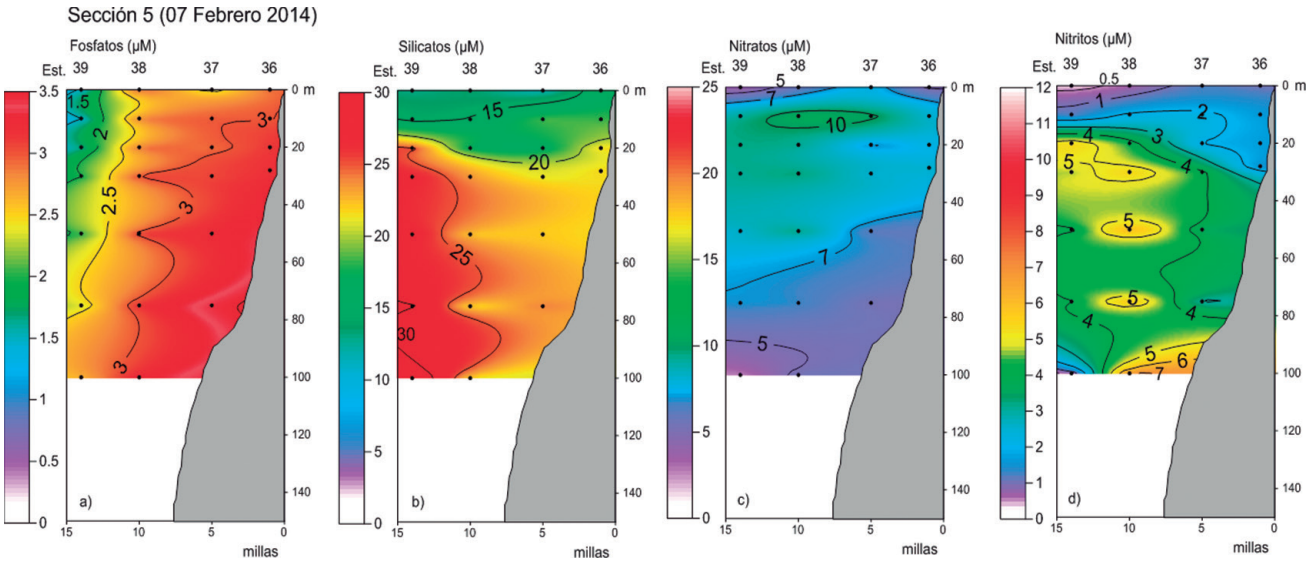


Figura 30.- Distribución vertical de a) Fosfatos, b) Silicatos, c) Nitratos y d) Nitritos. San Juan. Febrero 2014

En clorofila-a predominaron los valores 0 indicando ausencia de biomasa fitoplanctónica (Fig. 29c).

En fosfatos, la isolínea de 3 µM tuvo gran amplitud entre los 10 y 100 m y hasta 11 mn lo que indicaría aporte de fosfatos en la columna de agua relacionado a temperaturas entre 14 y 15 °C (Fig. 30a). Los silicatos tuvieron valores entre 15 y 30 µM, las concentraciones entre 20 y 25 µM mostraron una capa homogénea asociada a los fosfatos (3 µM) (Fig. 30b). En nitratos solo se encontró un núcleo de 10 µM (Fig. 30c). Los nitritos en toda la columna de agua mostraron altos contenidos que variaron de 1 a 7 µM (Fig. 30d).

Secciones paralelas a la costa

Sección 1

El oxígeno disuelto presentó valores <4 mL/L, con la mínima entre 40 y 20 m de profundidad, la menor profundidad se registró en la zona centro–sur (Est. 22 a 37). En esta zona las aguas fueron más frías en comparación con el centro-norte en donde se registró hasta 4 mL/L y se halló una pequeña mezcla de Aguas Costeras Frías (ACF) con Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) (Fig. 31a).

Las altas concentraciones (>7,7) de pH se localizaron al norte de San Nicolás, asociadas a contenidos de oxígeno <4 mL/L y clorofila-a entre 1 y 1,5 µg/L. Características contrarias se observaron al sur de San Nicolás en donde las aguas fueron más frías y se detectó muy poco fitoplancton (Fig. 31b, c).

Las concentraciones de nutrientes fueron altas al sur de San Nicolás debido a que las aguas fueron más frías (<15 °C). En nitratos se encontró un núcleo con valores de 10 y 15 µM (Fig. 32a).

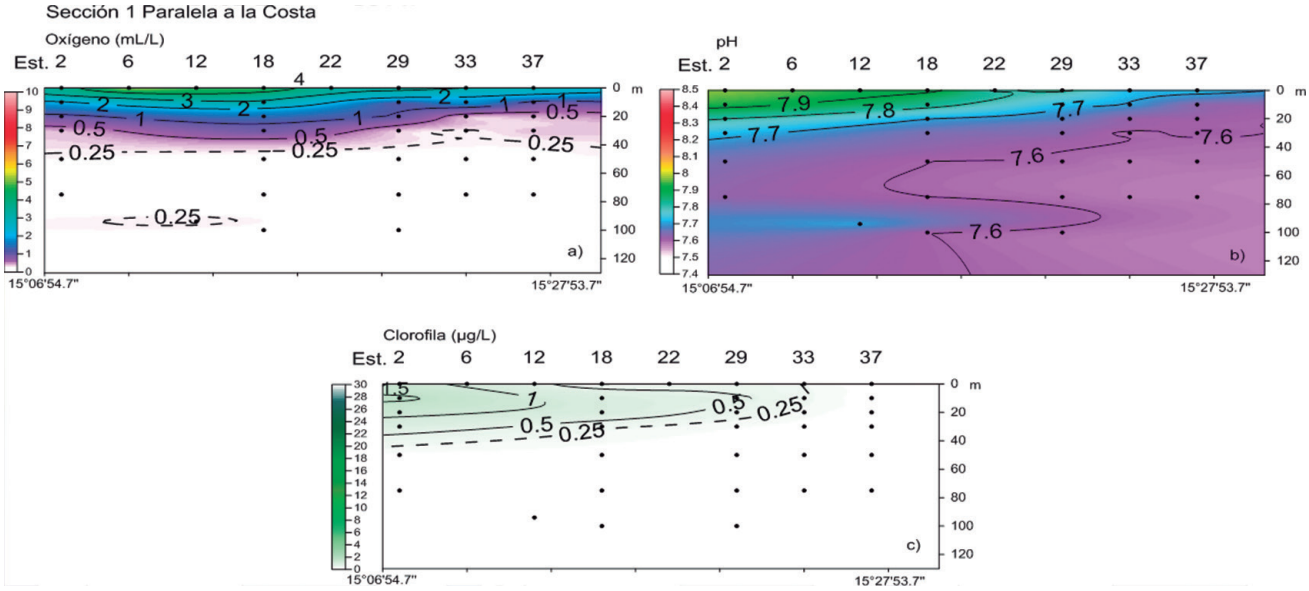


Figura 31.- Distribución vertical paralela a la costa de a) Oxígeno, b) pH y c) Clorofila-a.
San Juan. Febrero 2014

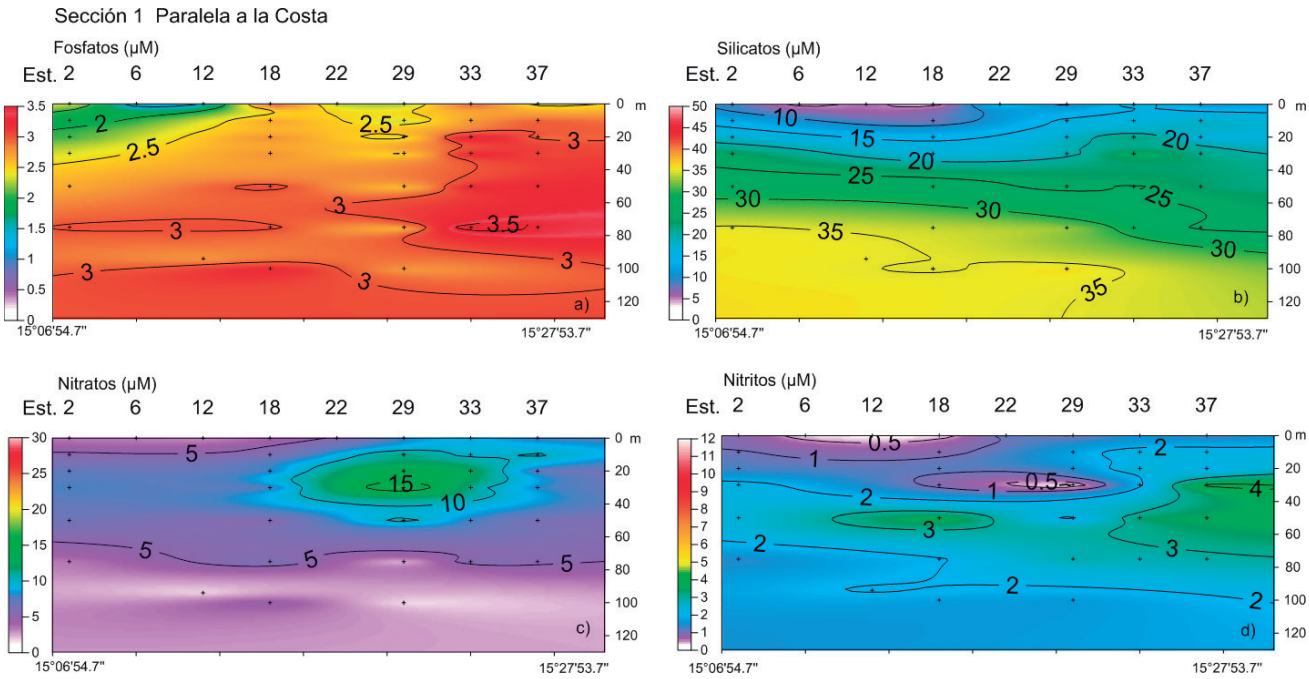


Figura 32.- Distribución vertical paralela a la costa de a) Fosfatos, b) Silicatos, c) Nitratos y d) Nitritos.
San Juan. Febrero 2014

Sección 2

La mezcla de agua originó concentraciones >5 mL/L de oxígeno disuelto, pero como es característico en las zonas de afloramiento la oxiclina (1 - 4 mL/L) se ubicó sobre 35 m de profundidad, ascendiendo ligeramente en los extremos norte y sur (Fig. 33a).

En esta sección, el pH mostró una capa subsuperficial con valores de 8 entre las estaciones 8 y 31. Entre 30 m y 90 m se encontró una capa homogénea (Fig. 33b). La distribución de clorofila-a fue más amplia, la isolínea de 1 µg/L alcanzó hasta punta El Huevo (Fig. 33b, c).

Los nutrientes disminuyeron en relación a la sección 1, pero tuvieron la misma tendencia en la distribución. El núcleo <5 µM de silicatos en la capa superficial estuvo en relación a las concentraciones de 1 µg/L de clorofila-a (Fig. 34b).

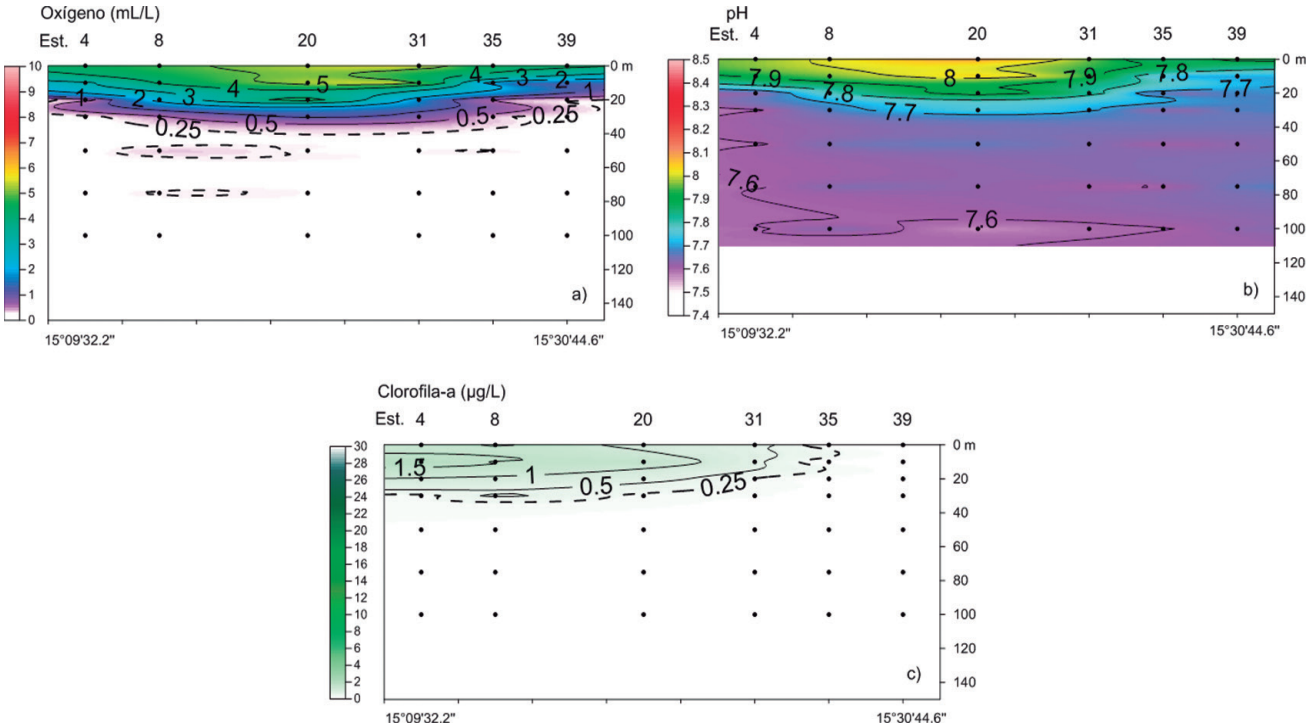


Figura 33.- Distribución vertical paralela a la costa de a) Oxígeno, b) pH y c) Clorofila-a. San Juan. Febrero 2014

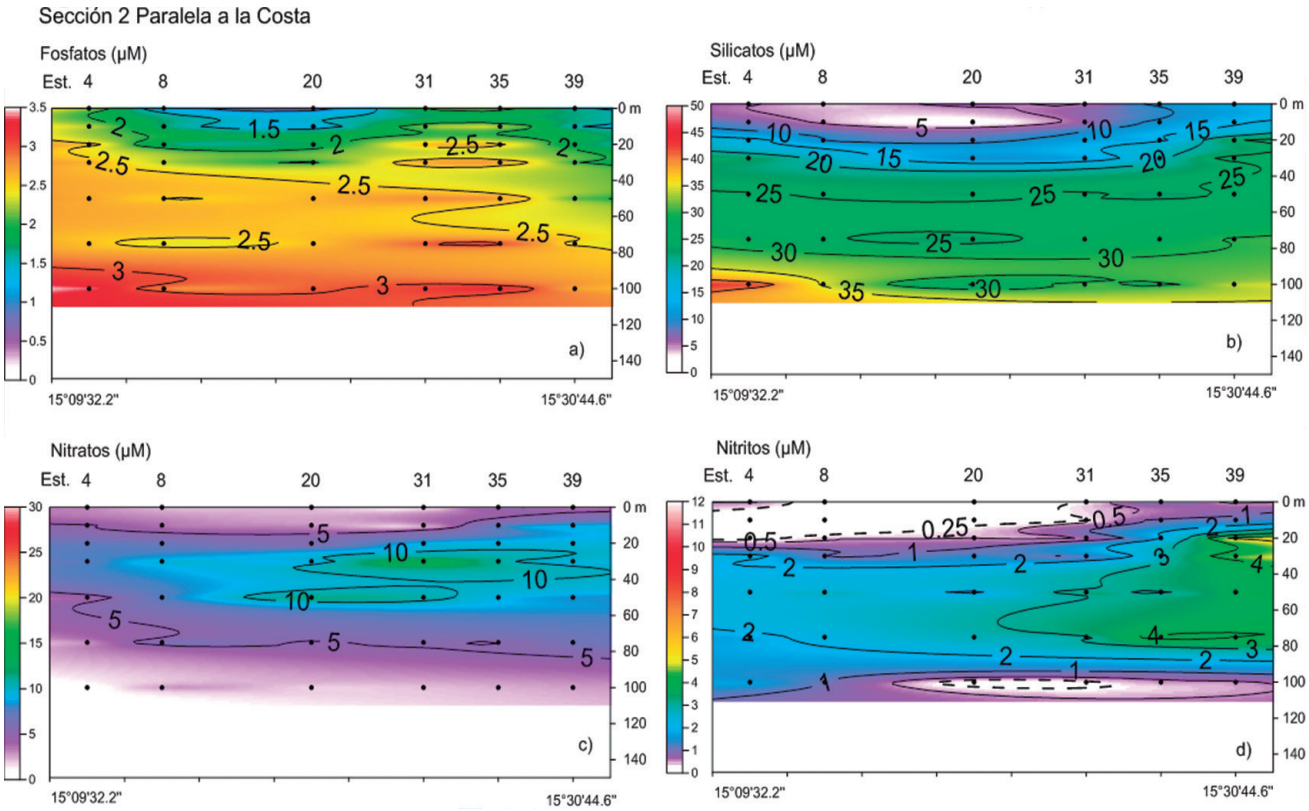


Figura 34.- Distribución vertical paralela a la costa de a) Fosfatos, b) Silicatos, c) Nitratos y d) Nitritos. San Juan. Febrero 2014

Calidad ambiental

Sólidos suspendidos totales (mg/L)

Los sólidos suspendidos totales (SST) son indicadores de la calidad ambiental, por esa razón el incremento en la concentración de SST causa turbiedad en el cuerpo de agua y reduce la penetración de la luz solar, limitando el desarrollo de la vegetación marina.

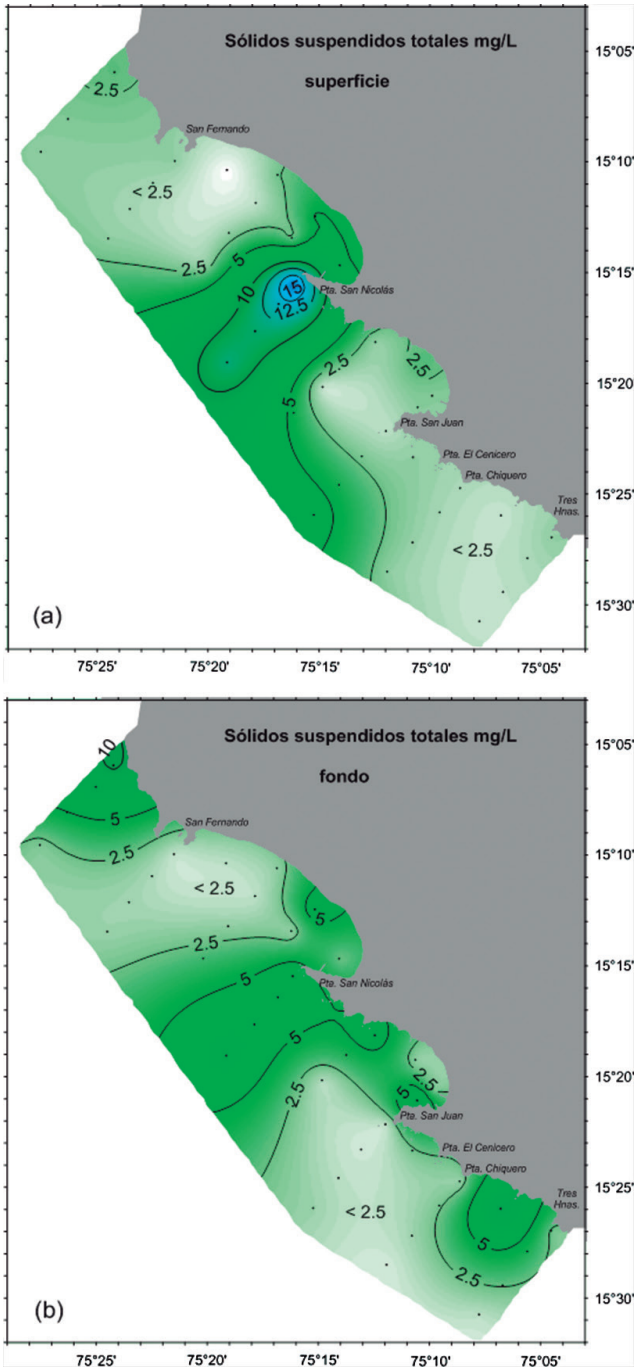


Figura 35.- Distribución de sólidos suspendidos totales (mg/L) en superficie (a) y fondo (b). San Juan. Febrero 2014

En superficie se observó un núcleo con concentraciones >10 mg/L frente a punta San Nicolás, que disminuyeron al sur y norte de la misma localidad, predominando valores <2,5 mg/L en la zona costera frente a la Reserva San Fernando y al sur de punta San Juan (Fig. 35a).

En fondo, los SST presentaron valores ligeramente más homogéneos que en superficie, ubicándose concentraciones cercanas a 5 mg/L frente a punta San Nicolás. De manera puntual, se registraron dos valores >10 mg/L al norte de punta San Fernando y al sur de punta San Juan. Tanto en la capa superficial como en el fondo, los valores cumplieron con el valor de referencia para el Estándar Nacional de Calidad Ambiental para agua en la Categoría 2 (actividades marino costeras) (Fig. 35b).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)

En febrero del 2014, la zona costera entre la Reserva de San Fernando y el sur de punta San Juan presentó concentraciones en el rango 1,79 – 5,52 mg/L. La mayoría de valores hallados fueron <2 mg/L y las concentraciones más elevadas (>4 mg/L) se ubicaron a 5 mn de punta San Nicolás y al norte de la bahía San Juan (Fig. 36). Los bajos niveles de DBO_5 registrados en la zona evaluada indican un estado saludable del cuerpo marino respecto a la presencia de materia orgánica. Todos los valores hallados se encontraron dentro de lo establecido en el Estándar Nacional de Calidad Ambiental para Agua - Categoría 2 (actividades marino costeras).

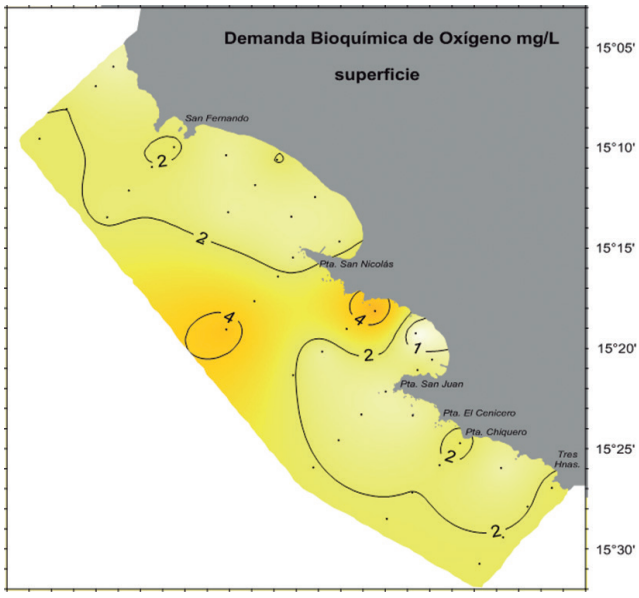


Figura 36.- Distribución de DBO5 en superficie. San Juan. Febrero 2014

Aceites y grasas (mg/L)

Las muestras para aceites y grasas se procesaron como material orgánico extraíble en hexano.

El contenido graso presente en superficie puede tener varias fuentes, pero principalmente proviene de los residuos domésticos y efluentes industriales.

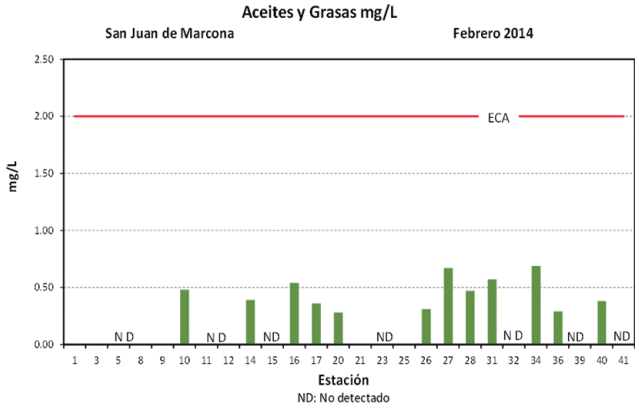


Figura 37.- Aceites y grasas (mg/L) en superficie. San Juan. Febrero 2014

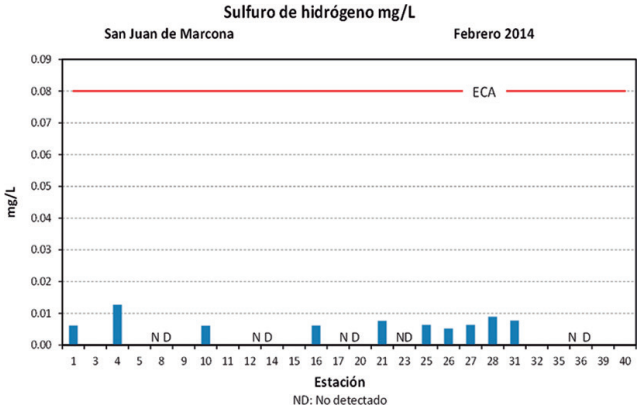


Figura 38.- Sulfuro de hidrógeno (mg/L) en fondo. San Juan. Febrero 2014

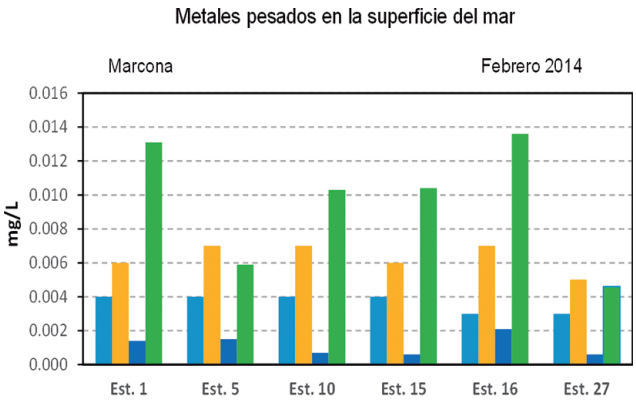


Figura 39.- Concentración de metales pesados en superficie. San Juan. Febrero 2014

Los niveles de aceites y grasas hallados fueron bajos, la concentración más elevada fue 0,7 mg/L, y se registró en la bahía San Juan (Est. 27) y al sur de punta San Juan (Est. 34). Más del 50% de estaciones evaluadas presentaron valores menores al límite de detección del método analítico utilizado y ningún valor superó al estándar de calidad ambiental (2 mg/L) establecido en el DS-002-2008-MINAM, para la categoría 2 (actividades marino costeras) (Fig. 37).

Coliformes totales y termotolerantes (NMP/100 mL)

Para determinar el nivel de contaminación microbiológica (concentración de coliformes totales y termotolerantes – fecales) en la zona marino costera de San Juan de Marcona se colectaron muestras de la superficie marina en 24 estaciones. Los resultados de las determinaciones analíticas estuvieron por debajo del límite de detección del método (<2 NMP/100 mL) indicando ausencia de microorganismos por contaminación fecal.

Sulfuro de hidrógeno (mg/L)

Se registraron concentraciones bajas de sulfuro de hidrógeno en el fondo marino y no se llegó a detectar en el 61% de las estaciones evaluadas según la metodología usada (Fig. 38). En la mayoría de estaciones donde se detectó su presencia, no superó el 0,01 mg/L (bahías de San Nicolás y San Juan). Los valores hallados no superaron el valor establecido en los ECA's agua – Categoría 2 (0,08 mg/L).

Metales pesados

Se evaluaron metales pesados en agua de mar superficial en seis estaciones. Las zonas evaluadas fueron el norte de punta San Fernando (Est. 1), inmediaciones de punta San Fernando (Est. 5), norte de la bahía San Nicolás (Est. 10), centro de la bahía San Nicolás (Est. 15), sur de la bahía San Nicolás (Est. 16) y sur de la bahía San Juan (Est. 27) (Fig. 39).

Los niveles de cromo y mercurio total fueron menores al límite de detección del método de análisis (0,002 y 0,00004 mg/L respectivamente). Del mismo modo predominaron valores por debajo del límite de detección para cadmio total (<0,0002 mg/L) (Fig. 40). La concentración de hierro total varió de 0,032 a 0,201 mg/L; la concentración más elevada se registró en la estación 16 y está relacionada con la cercanía al muelle San Nicolás, donde se reciben barcos de gran tonelaje para el

embarque de mineral de hierro. Los valores de arsénico (As), cadmio (Cd), cobalto (Co), cobre (Cu), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn) (Fig. 40) no superaron el estándar de calidad ambiental para agua en las categorías 2 (actividades marino costeras) y 4 (conservación del ambiente acuático). No se cuenta con un estándar de referencia para la concentración de hierro total en agua de mar.

Los valores de arsénico fluctuaron entre 12,95 mg/kg (Est. 6) y 23,17 mg/kg (Est. 15), todos los valores superaron el ISQG (valor guía interino de la calidad de sedimento), pero fueron menores al valor PEL (nivel de efecto probable) que es la concentración sobre la cual se encuentran con frecuencia efectos biológicos adversos.

Exceptuando la estación 17 (punta San Nicolás), todas las estaciones evaluadas superaron el ISQG y PEL respecto al contenido de cadmio en el sedimento marino, lo que indica la presencia de afectación negativa para la biota.

Solo la estación 27 (sur de bahía San Juan) presentó una concentración menor de cobre referido al valor referencial PEL, mientras que todas las estaciones superaron el valor ISQG y PEL, sobre todo las estaciones 15 y 17 donde se encontraron valores aproximadamente 10 veces mayor al nivel de efecto probable.

Los niveles de cromo en el sedimento marino se encontraron en el rango 18,52 – 47,71 mg/kg valores que no superaron los Estándares Canadienses de Calidad para Sedimentos Marinos. El contenido de mercurio, plomo y zinc en las seis estaciones evaluadas, no superaron el valor PEL establecido por la Canadian Environmental Quality Guidelines. Con respecto a la concentración de hierro, varió de 15,014 mg/kg a 98,813 mg/kg; la concentración más elevada se ubicó en la estación 15 situada en la bahía San Nicolás.

Fitoplancton

Distribución de volúmenes

Los volúmenes fluctuaron entre 0,2 y 7,6 mL.m^{-3} (Fig. 41), el valor más alto fue registrado en la estación 17 frente a punta San Nicolás, alcanzando el promedio de 1,9 mL.m^{-3}. El fitoplancton, presentó distribución muy costera, por fuera de las 5 mn las concentraciones tendieron a disminuir, los valores fueron <0,5 mL.m^{-3} con respecto a otras áreas de afloramiento (Sánchez 2000). Los valores medios

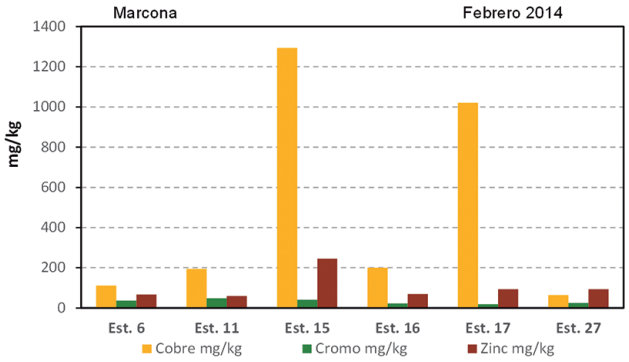


Figura 40.- Concentración de metales pesados en el sedimento marino. San Juan. Febrero 2014

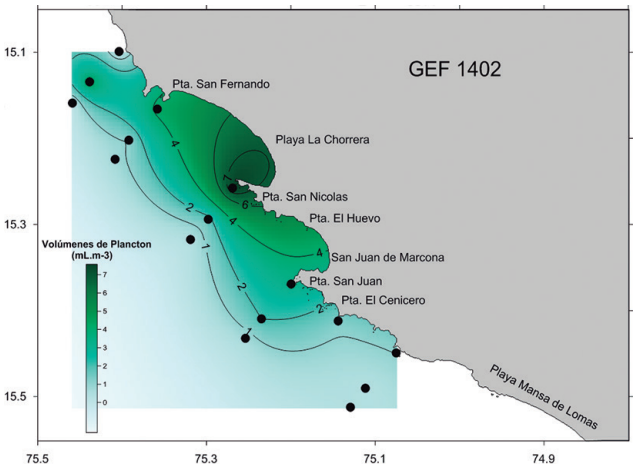


Figura 41.- Volúmenes de plancton en mL.m-3. San Juan. Febrero 2014

anuales de la biomasa del fitoplancton en la región sur son variables en primavera y verano. En los periodos del 2008 al 2010 se registraron valores superiores a 2 mL.m^{-3}, con altas concentraciones en el verano del 2010 cuando el valor medio fue 3,0 mL.m^{-3} (Delgado y Chang 2015). Chang et al. (2013) para la primavera del 2012 registró 3,06 mL.m^{-3} coincidiendo con la distribución estacional antes mencionada.

Composición y concentración del fitoplancton

Se determinó un total de 106 taxa de las cuales 60 fueron diatomeas (56,6%), 39 dinoflagelados (36,79%), 2 Silicoflagelados (1,89%), 3 Cocolitofóridos (2,83%) y 2 Fitoflagelados (1,89%).

El análisis cuantitativo a 10 m de profundidad, permitió determinar concentraciones de fitoplancton que oscilaron entre 85 x 10^3 y 1.569 x 10^3 cel.L^{-1} (Ests. 38 y 28), frente a las puntas Cenicero y San Juan, respectivamente, dando un valor medio de 816 x 10^3 cel.L^{-1}.

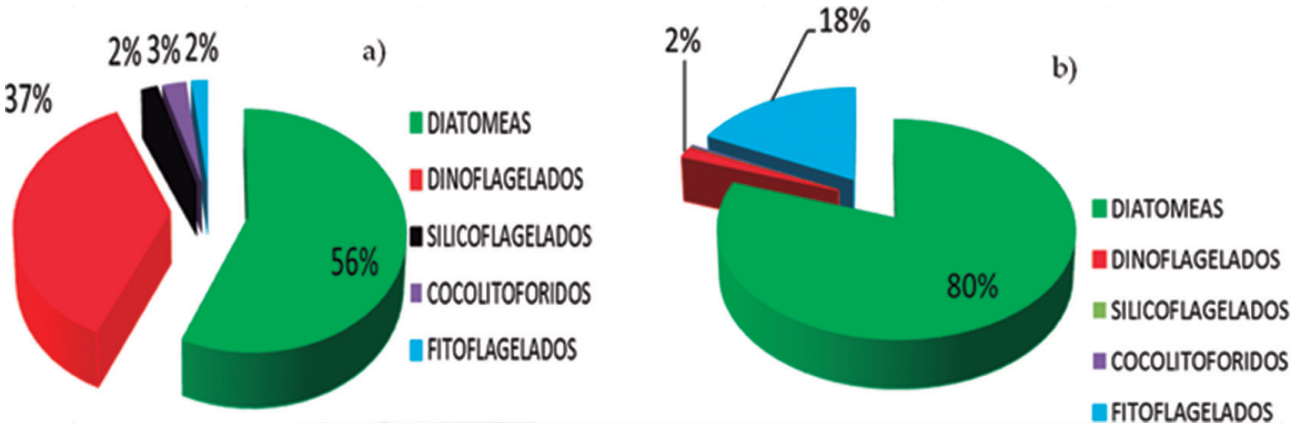


Figura 42.- a) Porcentaje de especies, b) Abundancia porcentual de células. San Juan. Febrero 2014

El grupo de las diatomeas fue en porcentaje de especies el más abundante (máximo 56%) seguido de los dinoflagelados (37%) (Fig. 42a). En cuanto a la abundancia celular, las diatomeas mantienen dominancia (80%) seguidas de flagelados (18%) y dinoflagelados (2%), a diferencia de los otros grupos (silicoflagelados y cocolitofóridos) cuyas abundancias no superaron el 1% (Fig. 42b).

La comunidad fitoplanctónica se caracterizó por contener especies de la primera fase de la sucesión ecológica, propias de áreas de afloramiento, seguidas de especies más grandes de fases intermedias. En la figura 43 se observa la distribución de abundancia de fitoplancton total a 10 m. Los focos de abundancia se ubicaron cerca a punta San Juan (Est. 28) y en las estaciones más alejadas de la costa frente a punta San Fernando (Ests. 4 y 8).

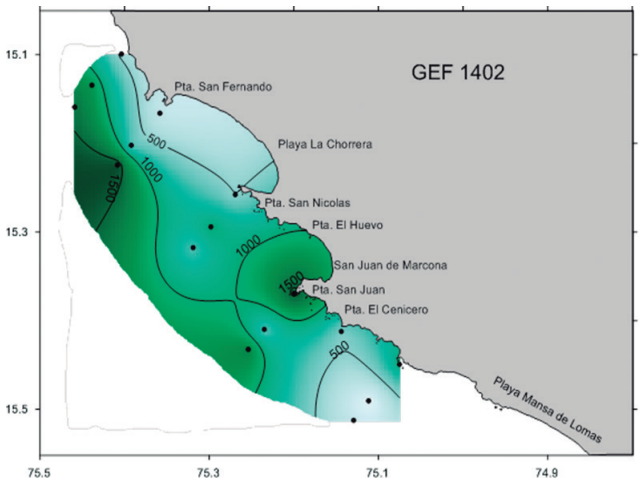


Figura 43.- Abundancia de fitoplancton total (cel*1000.L^{-1}) a 10 m de profundidad. San Juan. Febrero 2014

Las diatomeas propias del afloramiento fueron las que predominaron en número y diversidad de especies, observándose géneros como *Chaetoceros*, destacando *Ch. debilis* Cleve, 1894, *Ch. socialis* Lauder, 1864, *Ch. radicans* Schütt, 1895, *Ch. didymus* Ehrenberg, 1845, *Ch. affinis* Lauder, 1864, *Ch. constrictus* Gran, 1897; así como *Thalassiosira* con *T. mendiolana* Hasle y Heimdal, 1970, *T. anguste-lineata* Fryxell y Hasle, 1977. En algunas estaciones alejadas de la costa se observó *Skeletonema costatum* Cleve, 1873 en gran abundancia, especie también típica de zonas de afloramiento. Blasco (1971) determinó que la distribución clásica en un afloramiento consiste en un núcleo de diatomeas de pequeño tamaño y en poca cantidad, siguiendo diatomeas de mayor tamaño (lo que coincidió con lo registrado) especies que van a constituir la principal fuente de alimento de algunos estadios larvarios de peces e invertebrados.

Los dinoflagelados no destacaron en abundancia total, con excepción de los dinoflagelados desnudos *Gymnodinium lohmannii* Paulsen, 1908 y Gymnodiales pequeños que se observaron en la Est. 31 a las afueras de punta San Juan, así como especies cosmopolitas como *Ceratium dens* Ostenfeld y Schmidt, 1901, *C. furca* Claparède y Lachmann, 1859, *C. fusus var.* Asimismo, se registraron especies oceánicas como *Protoperidinium oceanicum* Balech, 1974 dinoflagelado que se distribuyó en las estaciones más alejadas, determinando el acercamiento de otras masas de aguas.

Análisis de Similaridad entre estaciones

El análisis de Similaridad aplicado a los datos cuantitativos de abundancia de fitoplancton total arroja 2 agrupamientos (Fig. 44).

El grupo 1 abarca las estaciones alejadas de la costa, que son más profundas; el grupo 2 incluye todas las estaciones próximas a la costa, con excepción de la Est. 5. La estación 38 se encuentra excluido de estos dos grupos de similaridad.

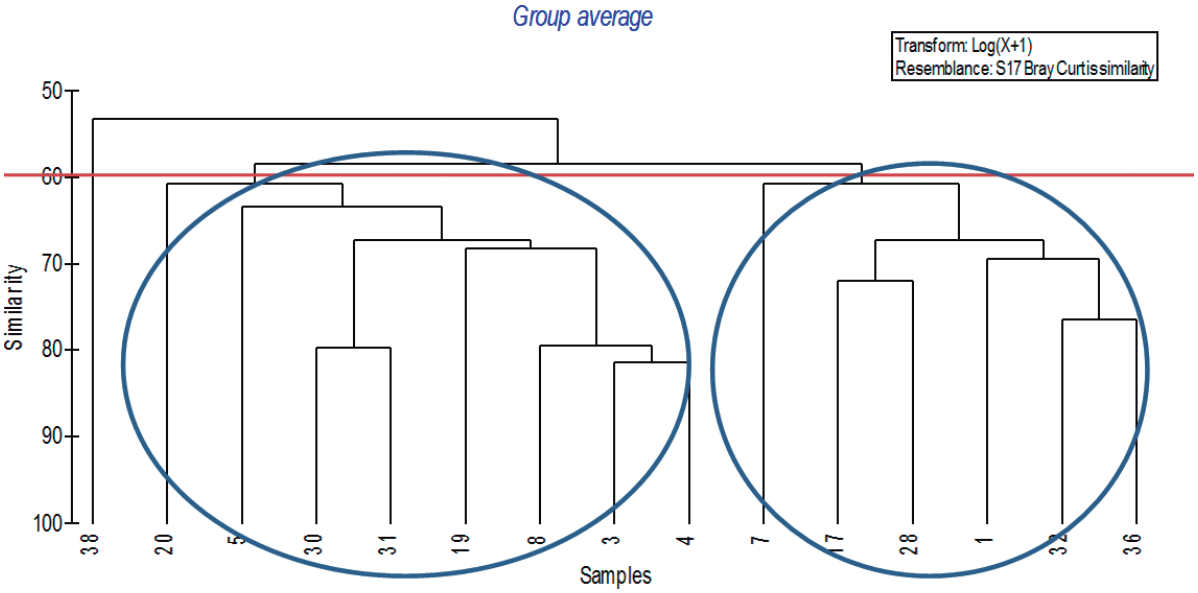


Figura 44.- Dendrograma de Similaridad Bray-Curtis del fitoplancton total superficial. San Juan. Febrero 2014

El grupo 1 estuvo conformado por diatomeas de afloramiento así como por especies consideradas como ticoplanctónicas, por ejemplo *Eucampia zoodiacus* Ehrenberg, 1839. También abundaron especies de *Chaetoceros* y *Leptocylindrus*, a diferencia del grupo 2 en que se observó mayor abundancia de especies de dinoflagelados del género *Protoperidinium*.

El grupo 2 se caracterizó por la abundancia de diatomeas pequeñas y formadoras de cadenas como *Chaetoceros debilis, Ch. socialis, Ch. radicans, Skeletonema costatum, Asterionellopsis glacialis* Round, 1990, *Thalassiosira mendiolana* y *T. angulata* Hasle, 1978. En las estaciones 30 y 31 ubicadas frente a punta San Juan se observaron Gymnodiales pequeños en abundancia (*Gymnodinum lohmani)* así como también la presencia de cocolitofóridos como *Ophiasterhy droideus* y *Gephyrocapsa oceanica*, esta última especie no se observó en otras estaciones.

La estación 38 a diferencia de los anteriores grupos se caracterizó por la baja diversidad y abundancia de diatomeas y dinoflagelados, aquí se destaca la presencia del dinoflagelado pequeño *Azadinium* sp.

Los resultados del índice de similitud mostraron homogeneidad en la distribución espacial del fitoplancton con dominancia de diatomeas, evidenciándose la formación de dos asociaciones tanto en la parte costera como en la oceánica.

Indicadores biológicos

El indicador de aguas costeras frías (ACF) *Protoperidinium obtusum* Parke y Dodge, 1976, se encontró en las estaciones más costeras, indicando condiciones normales para el área de estudio.

Zooplancton

Los biovolúmenes de zooplancton fluctuaron entre 1,56 mL.100^{-3} y 523,51 mL.100^{-3}, promedio de 71,21 mL.100^{-3}. Los mayores biovolúmenes se observaron al norte del área evaluada.

Las abundancias totales fueron similares entre las estaciones muestreadas y fluctuaron entre 2.926 y 5.646.543 Ind./100 m^3, que corresponden a las estaciones 34 y 30 respectivamente, ubicadas frente a las puntas San Juan y El Cenicero.

Se determinó un total de 65 especies, 15 familias, 11 ordenes/infra órdenes, 6 clases/sub clases y 2 phyla.

Las familias más frecuentes fueron Acartiidae, Centropagidae, Paracalanidae y Oikopleuridae; las especies más abundantes fueron *Acartia tonsa* Dana, 1849 (53 ind./100 m^3 – 1.968.024 ind./100 m^3), *Paracalanus parvus* (Claus, 1863) (2.378 ind./100 m^3 – 753.777 ind./100 m^3), ambas especies en estadios de copepodito, seguidos de nauplios de cirrípedos con abundancia entre 8 ind./100 m^3 y 1.077.215 ind./100 m^3.

Análisis comunitario

El número de especies de zooplancton fluctuó entre 14 y 39. No hubo mucha variación en los índices de diversidad; la diversidad de Shannon varió entre 0,885 y 1,924 bits.ind^{-1}. La equidad (J') osciló entre 0,291 y 0,582. Los mayores valores estuvieron principalmente por fuera de la bahía en punta San Fernando (playa Los Ingleses) (Fig. 45).

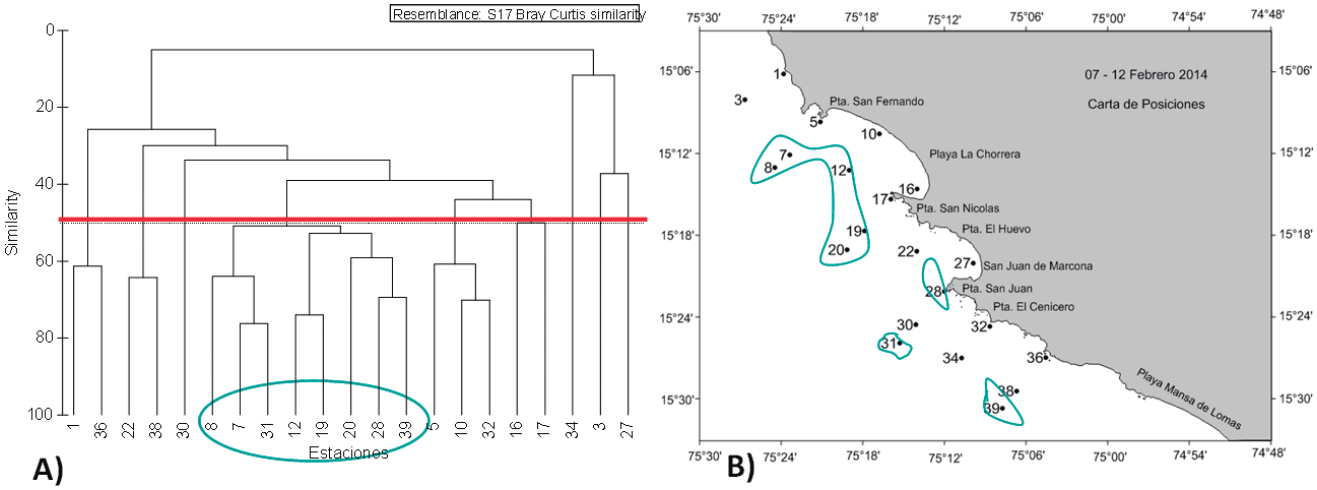


Figura 45.- A) Dendrograma de similaridad de estaciones y B) Carta de ubicación de grupo. San Juan. Febrero 2014

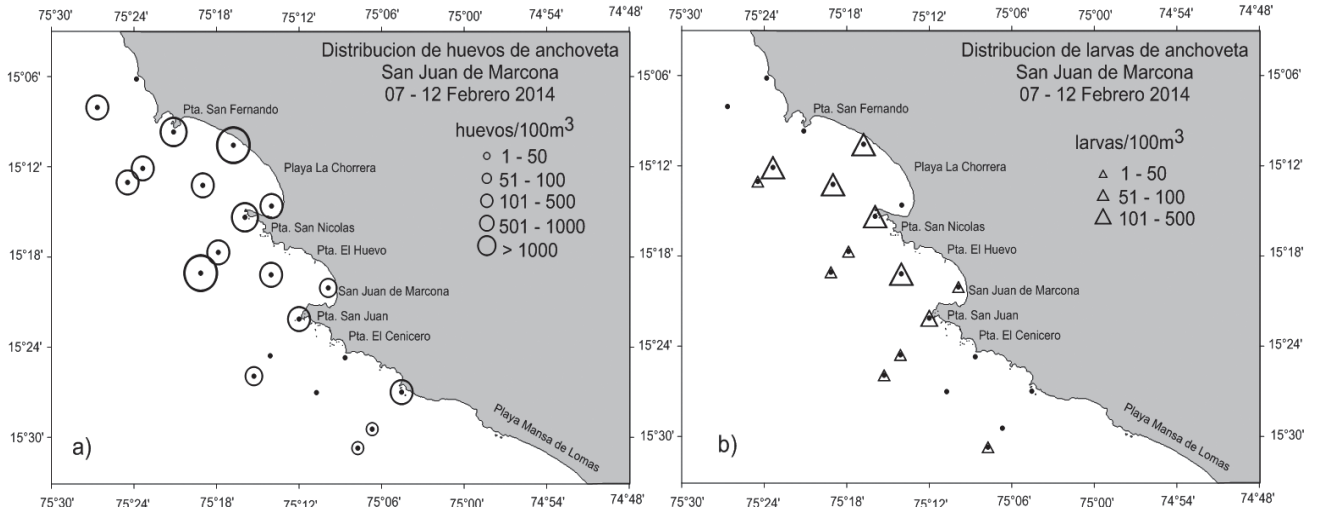


Figura 46.- Distribución de a) huevos y b) larvas de *Engraulis ringens*. San Juan. Febrero 2014

Del análisis de similaridad de estaciones se obtuvo un dendrograma que al 54% muestra un grupo conformado por la mayor cantidad de estaciones, ubicadas principalmente en el área comprendida entre punta San Fernando (playa Los Ingleses) y punta San Nicolás (playa San Juanito).

Ictioplancton

Se determinaron huevos (85%) y larvas (65%) de anchoveta *Engraulis ringens* que fue la especie más frecuente y abundante. La abundancia de huevos fluctuó entre 14 y 1.546 huevos/100 m^3 y el de las larvas entre 13 y 393 larvas/100 m^3 (Fig. 46a, b). Se observó que la especie estaba desovando, lo que concuerda con su normal comportamiento en verano. La mayor abundancia de huevos y larvas de anchoveta se presentaron, principalmente, entre punta San Fernando (playa Los Ingleses) y punta San Nicolás (playa San Juanito) (Fig. 46). También se encontraron larvas de especies de las familias Blennidae (*Hypsoblennius* sp.) y Labrisomidae.

Sedimentos superficiales

Los sedimentos superficiales en relación a tamaños, corresponden a arena y arena fangosa las que están conformadas en su mayor proporción por minerales terrígenos y restos de origen biogénico.

La naturaleza de los sedimentos y su distribución granulométrica dependen del tipo de fuente de aporte, distancia a ésta y procesos erosivos de transporte y sedimentación.

Granulometría

Contenido de la fracción arena

Los mayores porcentajes de arena (sobre el 90%) se localizaron en áreas próximas a la franja costera de la bahía,

presentándose hasta 99,14% en la Est. 25. A mayores distancias de la costa y mayor profundidad, los contenidos de arena decrecieron hasta un mínimo de 20,23% en la Est.11 (Fig. 47). La fracción arena estuvo conformada principalmente por minerales de origen terrígeno como silicatos, cuarzo, feldespatos, micas, minerales ferro magnesianos, magnetita, entre otros y también componentes de origen biogénico como fragmentos calcáreos y presencia de restos de poliquetos (Fig. 48).

Contenido de la fracción fango (limo + arcilla)

La fracción limo + arcilla está conformada por partículas finas de tamaño de grano <0,063. El mayor contenido de fango se registró al norte del área de estudio, entre punta San Fernando y playa La Charrera. Valores mayores a 79,77% corresponden a la Est. 6, mientras que en la zona muy costera frente a punta San Fernando los sedimentos se caracterizaron por mostrar el menor contenido de partículas finas, con valores de hasta 0,86% (Est.14) (Fig. 48).

Textura sedimentaria

La textura de sedimento predominante en la zona de estudio (Folk 1974) es arena, que se encuentra distribuida entre las puntas San Nicolás y San Fernando, como una franja estrecha de gran extensión y paralela a la línea de costa. En las zonas más alejadas, hacia el centro de la bahía, se presenta un parche cuya textura es areno fangosa (Fig. 48).

Características geoquímicas

Materia Orgánica Total (MOT), Carbonatos totales (CBTOS) y CO_2

Los valores de materia orgánica total hallados en la zona de estudio fluctuaron entre 9,10% y 1,52% localizando el máximo valor en la zona próxima a la costa frente a punta San Fernando (Est. 6), en tanto que el menor valor correspondió a la Est. 27 localizada frente a punta San Juan. La distribución más homogénea de la materia orgánica total se ubicó en la zona central del área de estudio, valores que se ven influenciados por la baja concentración de oxígeno y la profundidad de la zona. (Fig. 49a).

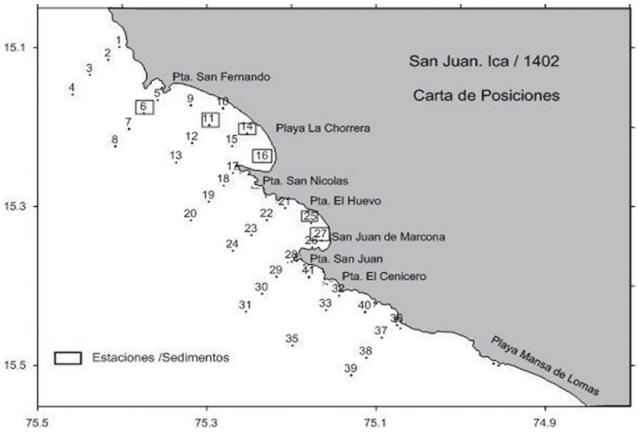


Figura 47.- Carta de posiciones de la evaluación ambiental. Punta San Fernando a San Juan. Febrero 2014

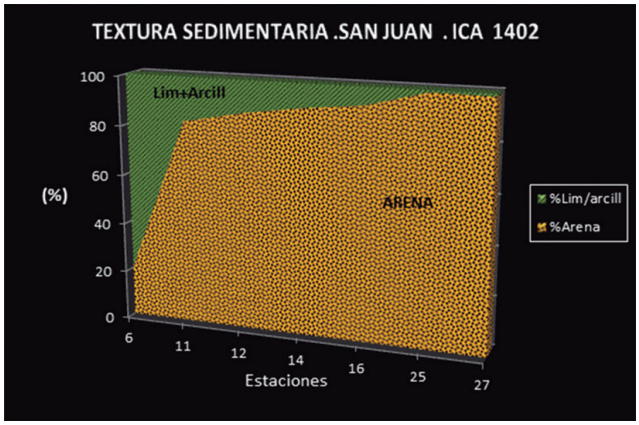
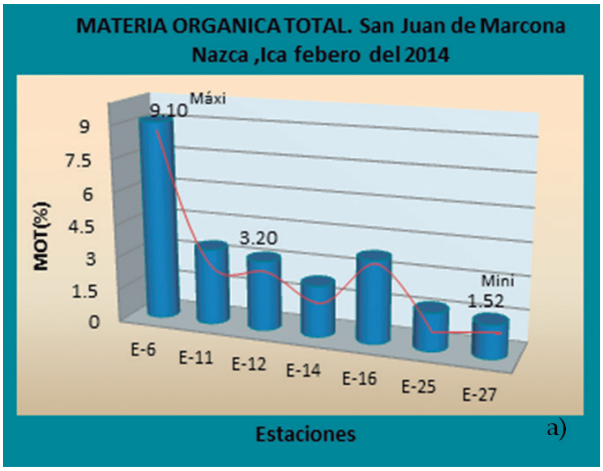


Figura 48.- Mapa de facies texturales. Punta San Fernando a San Juan de Marcona. Febrero 2014



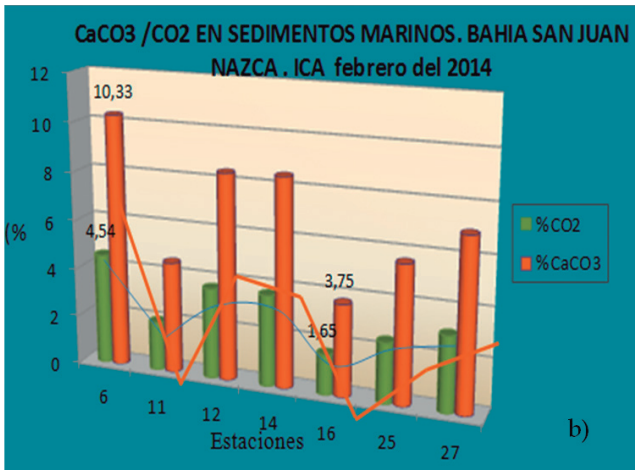


Figura 49.- a) Distribución de MOT, b) Carbonatos Totales. San Juan. Febrero 2014

También frente a punta San Fernando (Est. 6) se hallaron los mayores contenidos de carbonatos totales, alcanzando el máximo de 10,33%, mientras que el menor se halló entre punta San Nicolás y playa La Chorrera con 3,95%.

Los carbonatos están asociados a la presencia de sedimentos biogénicos (restos calcáreos de moluscos bivalvos) presentes en la fracción arena (Fig. 49b).

Los valores de CO_2 muestran distribución con tendencia variable, similar a la de los carbonatos, fluctuando de 1,65% a 4,54% (Fig. 49b).

Macrozoobentos

El rango de densidades varió entre 180 ind.m^{-2} (Est. 2, 80 m) y 50.300 ± 15.019 ind.m^{-2} (Est. 17, 45 m). La mayor densidad se debió al aporte del poliqueto *Magelona phyllisae* Jones, 1963 y el crustáceo *Ampelisca araucana* Gallardo, 1963 que alcanzaron 34 y 22% del total, respectivamente (Fig. 50a).

La biomasa varió de 3,75 g.m^{-2} (Est. 5, 50 m) a 781,30 ± 1.074 g.m^{-2} (Est. 40, 40 m). Las mayores biomasas se debieron al aporte de los bivalvos *Glycymeris ovata* (Broderip, 1832) y *Nuculana* sp. (Fig. 50b).

Fueron registrados en total 57 taxa de la macrofauna, distribuidos en 5 grandes grupos: 35 de la Clase Polychaeta (Phylum Annelida), 8 Clase Crustacea (Phylum Arthropoda), 8 Mollusca, 2 Nemertea, 4 clasificados como 'Otros', los que incluyeron a diferentes phyla como Phoronida, Pycnogonida Echinodermata, Cnidaria. En la estación 1 no se encontró representantes de fauna (solo se realizó una réplica).

En esta evaluación se reportó la presencia de bacteriobentos (*Thioploca* spp.) que se encontró en las estaciones 6, 11, 15, 22, 29 y 37.

Los Polychaeta tuvieron el mayor porcentaje del total en todas las estaciones, excepto en las estaciones 17, 25 y 40 donde fueron los Crustacea los dominantes porcentuales (Fig. 51a). En resumen, en las estaciones de zonas batimétricas someras (<40 m) e intermedia (41 – 80 m) los porcentajes de sus grandes taxa fueron similares mientras que en la zona batimétrica profunda (81 - 150 m) existió alta dominancia de Polychaeta (Fig. 52a).

La mayor contribución porcentual a la biomasa fue de parte de los poliquetos, excepto en las estaciones 2, 29 y 40 donde fueron superados por los moluscos; los crustáceos alcanzaron el 48,2% en la estación 17 (Fig. 51b).

En resumen, las estaciones de zonas batimétricas someras (<40 m) y profundas (81 - 150 m) presentaron porcentajes similares de sus grandes taxa mientras que en la zona batimétrica intermedia (41 - 80m) existió alta dominancia de Polychaeta. El grupo de "Otros" proporcionó un porcentaje ~10% (Fig. 52b).

Los índices de diversidad de Shannon presentaron distribución semejante al número de especies, alcanzando el mayor valor 2,98 bitios/ind en la Est. 27 (zona somera, 28 especies) y el menor 1,28 bitios/ind en la Est. 40 (zona somera, 9 especies). El mayor índice de Equidad de Pielou fue 0,97en la Est. 2 (zona intermedia, 7 especies) y el menor 0,36 en la Est. 17 (zona intermedia, 23 especies). El mayor índice de Dominancia de Simpson fue 0,84 en la Est. 2 (zona intermedia, 7 especies) y el menor 0,38 en la Est. 40 (zona somera, 9 especies).

Para los análisis comunitarios solo se consideraron 11 taxa, debido a la poca densidad y frecuencia de los demás taxa (<1%).

En el ordenamiento numérico nMDS, se obtuvo el diagrama que indica cómo se distribuyen espacialmente las estaciones y cuan cercanas se encuentran en la conformación de comunidades. Se observó alta similaridad de los grupos de comunidad, verificándose con el análisis de Cluster junto con la prueba SIMPROF (Similarity Profile) que agrupa a una sola comunidad a lo largo de las zonas batimétricas (nivel de significancia= 0,05) a una similaridad del 75% (Fig. 53).

El análisis de nMDS entre especies permitió diferenciar, a dos grupos de asociaciones. GE I (*Cossura chilensis* Hartmann-Schröder, 1965, *Magelona phyllisae*, *Paraprionospio pinnata* (Ehlers, 1901), *Aricidia* sp. y *Chone paracincta* Hartmann-Schröder, 1962) y el GE II (*Leitoscoloplos chilensis* (Hartmann-Schröder, 1965), *Pitar* sp., *Ampelisca araucana* y *Tharyx* sp.) (Fig. 54).

4. DISCUSIÓN

Entre 14 y 16°S se produce el afloramiento costero más intenso y permanente de la costa peruana (Morón 2000), conjugándose diversos factores como vientos, circulación, baja temperatura y alta concentración de nutrientes entre otros, por lo que se considera como una de las zonas de afloramiento más importante a nivel mundial; además es importante indicar que la zona no se encuentra impactada negativamente por el aporte antropogénico en comparación con otras bahías de la costa peruana.

La información obtenida durante el trabajo confirmó la presencia de Aguas Costeras Frías (ACF) predominantes,

y un pequeño núcleo de aguas de mezcla (ACF y ASS). Esto último relacionado con un pequeño ramal de flujos de las corrientes marinas que ingresan a la bahía San Nicolás. Estas corrientes en la capa de 1 a 20 m presentaron flujos predominantes hacia el norte, alcanzando velocidades hasta de 43 cm/seg.

Las ACF en la superficie del mar se presentaron con bajas concentraciones de oxígeno (<4 mL/L), temperaturas <16 °C y altos contenidos de nutrientes (>1,5 µM fosfatos, >5 µM silicatos y nitratos) indicando procesos de afloramiento en una gran amplitud al sur de playa La Chorrera; sin embargo, para la biomasa fitoplanctónica no fue favorable, encontrándose hasta 0 µg/L de clorofila-a.

En la columna de agua, tanto la isoterma de 15 °C como la mínima de oxígeno (0,5 mL/L) se ubicaron sobre los 25 m de profundidad, solo frente a San Nicolás y por efecto de la presencia de aguas de mezcla, estas isotermas alcanzaron hasta 35 m de profundidad. Los valores halinos propios del afloramiento (34,8 - 35,0 ups) también fueron moderadamente influenciados por el agua de mezcla.

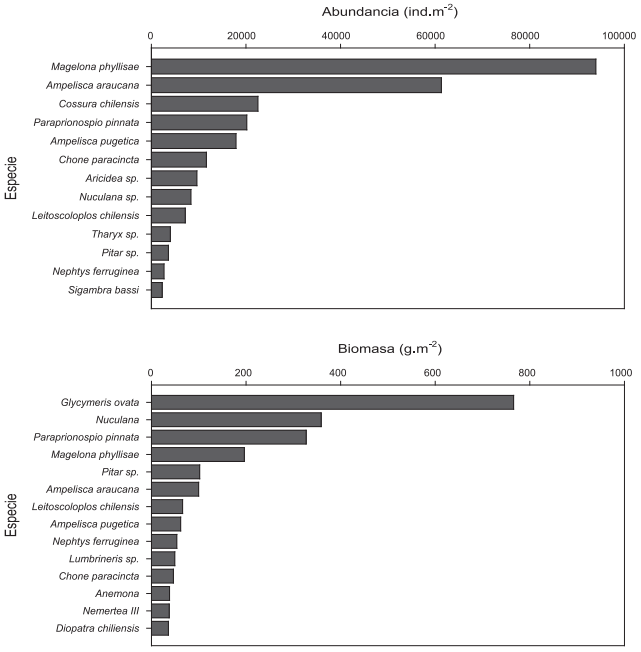


Figura 50.- Dominancia: a) densidad (ind.m^{-2}), b) biomasa (g.$^{m-2}$) de principales especies. San Juan. Febrero 2014

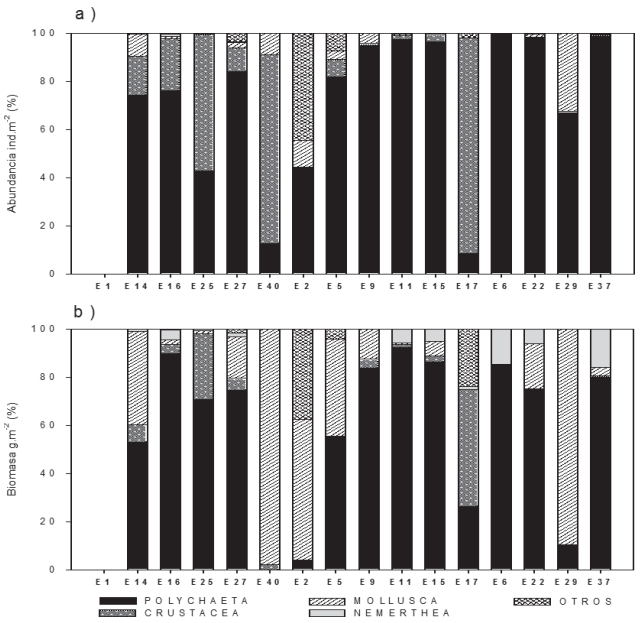


Figura 51.- Porcentaje de grandes grupos a) abundancia, b) biomasa. Las estaciones son promedios de las réplicas. San Juan. Febrero 2014

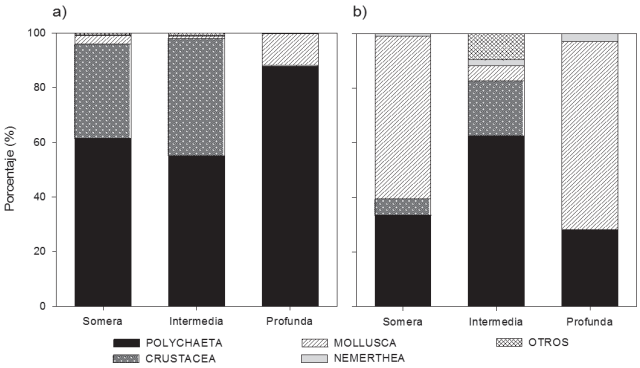


Figura 52.- Porcentaje de grandes grupos en zonas batimétricas: a) abundancia, b) biomasa. San Juan. Febrero 2014

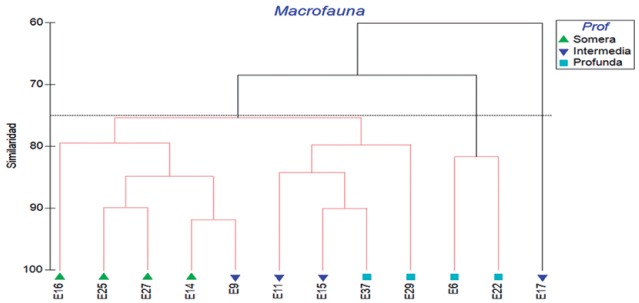


Figura 53.- Análisis Cluster con resultados SIMPROF (p=0,05) del grupo de estaciones. La línea horizontal punteada indica 75% de similaridad. San Juan. Febrero 2014

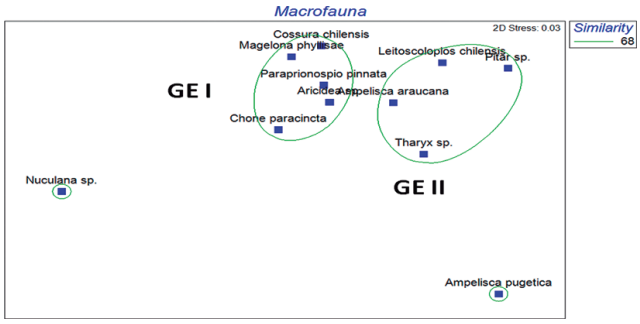


Figura 54.- Análisis nMDS, se observan dos grandes grupos. La línea verde indica 68% de similaridad. San Juan. Febrero 2014

Los nutrientes a nivel de columna de agua presentaron concentraciones entre 1,5 y 3,0 μM (fosfatos y silicatos) con mayor incremento (2,25 – 3,0 μM) en las secciones 4 y 5 debido al afloramiento costero. Los nitratos en todas las secciones estuvieron asociados a los procesos de óxido reducción que implican disminución de los nitratos e incremento en los nitritos causado por la denitrificación o la presencia de bacterias nitrificantes.

En la capa de 0 a 30 m de las secciones 1, 2 y 3, se encontró mayor concentración de clorofila-a (de 1,5 μg/L a 1,75 μg/L) y se detectó concentraciones >5 mL/L de oxígeno con temperatura de 17 °C; mientras que en las secciones 4 y 5 la concentración de clorofila-a fue pobre en toda la columna de agua (0 μg/L).

Los indicadores de calidad ambiental como sólidos suspendidos totales, concentraciones de DBO_5, niveles de aceites y grasas, concentraciones de coliformes totales y termotolerantes (fecales), así como valores de arsénico (As), cobalto (Co), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn), no superaron el estándar de calidad ambiental para agua, en las categorías 2 (actividades marino costeras) y 4 (conservación del ambiente acuático), por lo que el ambiente marino de la zona no sería desfavorable para las actividades indicadas.

Los volúmenes de plancton fluctuaron entre 0,2 y 7,6 $mL.m^{-3}$ con promedio de 1,9 $mL.m^{-3}$. Los valores medios anuales de la biomasa del fitoplancton en la región sur son variables en primavera y verano; para los periodos del 2008 al 2010 se registraron valores superiores a 2 $mL.m^{-3}$, con altas concentraciones en el verano del 2010 en que el valor medio fue de 3,0 $mL.m^{-3}$ (Delgado y Chang 2015). Chang et al. (2013) en la primavera del 2012 registraron concentraciones de 3,06 $mL.m^{-3}$, coincidiendo con la distribución estacional antes mencionada.

En promedio, el volumen de plancton fue 1,90 $mL.m^{-3}$, el valor más alto (7,63 $mL.m^{-3}$) fue registrado frente a punta San Nicolás asociado a TSM de 15,5 °C. La comunidad fitoplanctónica se caracterizó por una comunidad típica de fases iniciales en la sucesión ecológica y en menor proporción presencia de especies de fases intermedias asociadas a especies oceánicas.

Los biovolúmenes encontrados son mayores respecto a lo reportado por Quesquén y Ayón (2009). En marzo 2009 los mayores biovolúmenes estuvieron entre la parte sur del área evaluada y punta San Juan y, durante esta evaluación la comunidad del zooplancton presentó mayor número de especies, casi 50% más que lo reportado en ese periodo.

El ictioplancton estuvo representado por pocas especies al igual que lo hallado por Quesquén y Ayón (2009). En ambos periodos los huevos y larvas de anchoveta fueron más abundantes y frecuentes en concordancia con su distribución. En este periodo de muestreo se observó que las mayores abundancias de huevos y larvas de anchoveta se ubicaron principalmente entre punta San Fernando (playa Los Ingleses) y punta San Nicolás (playa San Juanito), a diferencia de marzo 2009 cuando las mayores abundancias estuvieron al sur de punta San Nicolás (playa San Juanito).

La distribución de sedimentos en la zona de estudio estuvo condicionada por la energía de las corrientes, aporte de material y cercanía de estas fuentes de suministro al depósito de cada estación analizada. El mayor valor de materia orgánica en la presente evaluación fue 9,10%, resultando ser inferior a los valores de materia orgánica total registrados en evaluaciones anteriores como la registrada en el invierno de los años 2011 y 2012 (Solís y Velazco 2011, 2012) cuando se halló un máximo valor de materia orgánica total de 10,27% que resultó ser inferior al valor registrado en la primavera 2009 (14,56%) (Velazco y Solís 2009).

Los valores de MOT en sedimentos dependen de diversos factores, como la fuente de aporte que provee material biogénico producido en la columna de agua (plancton). En el fondo marino está presente el aporte por parte del bentos y también como consumidor de la materia orgánica que constituye el alimento principal de los organismos heterótrofos que habitan el fondo. Tanto la fauna planctónica como bentónica presentan cambios en su distribución y biomasa; estacionalmente varía su contenido en los sedimentos como consecuencia de su sedimentación en el fondo al cumplir su ciclo vital.

La morfología de los sedimentos es otro factor importante que está relacionado con las condiciones hidrodinámicas en el fondo (intensidad de energía); la tasa de sedimentación; las condiciones geoquímicas que en este caso se presentan en condiciones de oxidación que constituyen los de mayor eficiencia, contenido de oxígeno, textura del sedimentos (mayor tamaño de grano, permite mayor permeabilidad y penetración del oxígeno, o remoción de las partículas por la hidrodinámica), procesos de sedimentación o transporte y la resuspensión.

Las zonas donde los sedimentos tienen mayor tamaño de grano se hallan asociados a sedimentos arenosos localizados donde el régimen hidrodinámico es intenso y la presencia de oxígeno es mayor, permitiendo la mineralización de la materia orgánica.

5. CONCLUSIONES

La capa superficial presentó predominancia de Aguas Costeras Frías cerca a la costa y moderada presencia de aguas de mezcla fuera de ella, debido a la aproximación de Aguas Subtropicales Superficiales, mientras que la columna de agua mostró en los extremos norte y sur del área de estudio el desarrollo normal del afloramiento, siendo perturbado moderadamente en la zona centro-norte (bahía San Nicolás) por la mezcla de aguas.

Los campos vectoriales de las corrientes marinas mostraron circulación predominante de dirección sur y flujo hacia el interior de la bahía San Nicolás. Se presentaron núcleos de corrientes marinas con intensidades de hasta 34 cm/seg con giros horarios en las capas subsuperficiales.

Las concentraciones menores a 4 mL/L de oxígeno indicaron procesos de afloramiento asociados a baja producción fitoplanctónica (clorofila-a <1 μg/L). Como efecto de las aguas de mezcla, la concentración de oxígeno presentó variación espacial ubicándose entre 20 y 35 m de profundidad.

Los indicadores de calidad ambiental como sólidos suspendidos totales, concentraciones de DBO_5, niveles de aceites y grasas, concentraciones de coliformes totales y termotolerantes (fecales), así como los valores de arsénico (As), cobalto (Co), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn) no superaron el estándar de calidad ambiental para agua, en las categorías 2 (actividades marino costeras) y 4 (conservación del ambiente acuático).

Cinco de las seis estaciones evaluadas superaron al estándar PEL (nivel de efecto probable) de la Canadian Environmental Quality Guidelines (Summary of Existing Canadian Environmental Quality Guidelines, December 2003) respecto al contenido de cadmio y cobre en el sedimento marino, lo que indica un nivel de afectación negativo para la biota.

El ictioplancton estuvo representado por pocas especies, siendo los huevos y larvas de anchoveta los más abundantes y frecuentes, presentándose principalmente entre punta San Fernando (playa Los Ingleses) y punta San Nicolás (playa San Juanito).

Los valores de materia orgánica fluctuaron de 1,52% a 9,10%; los contenidos de materia orgánica total (MOT) correspondieron a la línea de costa favorecida por la actividad de sulfato reducción y relacionada al incremento significativo del aporte de material orgánico y también a las condiciones de su preservación.

La textura sedimentaria predominante estuvo conformada por arena en la línea de costa, la que se va haciendo más fina formando una franja paralela a la costa que se extiende en toda el área de estudio desde punta San Nicolás a punta San Fernando. Al oeste de esta franja de arena se extiende otra franja de arena fangosa.

El área evaluada en el periodo de estudio se caracterizó por una estructura comunitaria homogénea, mostrando alta similaridad de la comunidad y asociaciones a lo largo de las zonas batimétricas. Se identificó una comunidad y dos asociaciones, con alta dominancia en abundancia de poliquetos en todas las profundidades y dominancia en biomasa de moluscos en las zonas someras y profundas.

6. REFERENCIAS

Álamo V, Valdivieso V. 1997. Lista Sistemática de Moluscos Marinos del Perú. Bol Inst Mar Perú, Vol. Extr. 205 pp.

Aronés K J. 1997. Distribución horizontal de los Amphipoda (Crustacea) en el mar peruano durante el Fenómeno ''El Niño" verano 1983. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Ricardo Palma, Lima.

Barnard J, Karaman G. 1991. The families and genera of marine gammaridean Amphipoda (except marine gammaroids). Part 1. Rec. Aust. Mus., Suppl. 13(1): 1–417.

Blasco D. 1971. Composición y distribución del fitoplancton en la región de afloramiento de la costa peruana. Inv. Pesq., 35: 61-112.

Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). 2003. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: summary tables. Updated 2003. Revised: October 2014. [http://www.ccme.ca/assets/pdf/sedqg_summary_table.pdf].

Carrit D, Carpenter J. 1966. Comparison and evaluation of currently employed modifications of Winkler method for determination dissolved oxygen in sea water. J. Mar. Res. 24: 286-318.

Chang F, Delgado E, Villanueva P. 2013. Comunidad Fitoplanctónica del área marino costera de Bahía San Nicolás. Ica - Perú. Dic. 2012.

Chirichigno N. 1970. Lista de crustáceos del Perú (Decapoda y Stomatopoda). Inf. Inst. Mar Perú, 35: 1-237.

Clarke K R, Warwick R M. 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. 2nd edition. PRIMER-E: Plymouth. United Kingdom. 271p.

Cupp E. 1943. Marine plankton diatoms of the west coast of North America. Bull. Scripps Inst. Oceangr. 5: 1-237.

Dean W. 1974. Determination of Carbonate and Organic matter in calcareous sediments and rocks by loss on ignition: Comparison with others methods. In: Jour. Sed. Petrology 44 (1): 242-248.

Delgado E, Chang F. 2015. Fitoplancton del mar peruano, verano 2010. Inf Inst Mar Perú. 42(3). Julio-setiembre.

Einarsson, Rojas de Mendiola B. 1963. Descripción de huevos y larvas de anchoveta peruana (*Engraulis ringens*) Bol. Inst. Recurs. Mar, Callao. Vol. (1): 1-23.

El Peruano. 2009. Decreto Supremo Nº 024-2009-MINAM.

Fauchald K. 1977. The Polychaete worms. Definitions and keys to the order, families and genera. University of Southern California. Science, Series 28: 1-188.

Folk F. 1974. Nomenclature based on silt-clay ratios. In: Jour. Sed. Petrology (24):151-158.

Hasle G, Syvertsen E. 1996. Marine diatoms. In: Tomas C. (ed.). Identifying Marine Diatoms and Dinoflagellates. Academic Press, Inc. San Diego. 1-383 pp.

Hendey I. 1964. An introductory account of the smaller algae of British Coastal waters. Part. V. Bacillariophyceae (Diatoms). London: 317 pp.

Hobson K D, Banse K. 1981. Sedentariate and archiannelid polychaetes of British Columbia and Washington. Can. Bull. Fish. Aquat. Sci. 209, 144 pages

Holm-Hansen A, Lorenzen C, Holmes R, Strickland J. 1965. Fluorometric determination of chlorophyll. Cons. Perm. Explor: 30:3-15.

Huntsman S, Barber R. 1977. Primary production off northwest Africa: The relationship to wind and nutrient condition. Deep Sea Research. Vol. 24: 25-33.

Husted F. 1930. Die KieselalgenDeutschlands. Osterreichs und der SchqeizmitBeucksichtigung der ubrigen Lander Europassowie der angerzendenMeerresgebiete. En: L. Rabenhorst (ed). Kryptogamen-Flora von Deutschland, Osterreich und der Schweiz. 1 Teil.Akat.Verlagsges. Leipzig, Reprint Johnson Rep. Goop, New York 1971: 920 pp.

Ingram R. 1971. Sieve Analysis. In: Procedures in Sedimentary Petrology. Eds. Carver, RE, de. Cap. 3. P. 49-67. New York.

Morón O. 2000. Características del ambiente marino frente a la costa peruana. Bol. Inst Mar Perú 19 (1--2): 179-204.

Morón O. 2011. Climatología de la Salinidad Superficial del Mar frente a la costa peruana. 1960 – 2008. Inf. Inst. Mar Perú. 38 (1): 07 – 39. ISSN 0378-7702.

Quesquén R, Ayón P. 2009. Comunidad de zooplancton e ictioplancton en la zona marino costera de San Juan de Marcona - Marzo 2009. Informe Laboratorio de Zooplancton y Producción Secundaria.

Robertson A. 1970. An Improved apparatus for determining plankton volume. Fish. Bull. South-Africa. 6(1): 23-26.

Sánchez S. 2000. Características del Fitoplancton de invierno durante el Crucero de Evaluación de Biomasa Desovante de Anchoveta (25 agosto al 23 de setiembre 2000).

Santander H, Sandoval de Castillo O. 1973. Estudio sobre las primeras etapas de vida de la anchoveta. Inf Inst Mar Perú. N°41: 1-30.

Schiller J. 1937. Dinoflagellate (Peridinae) in monographischer Behandlung.2 Tell. En: L. Rabenhortst (ed) Kriptogamen - Flora von Deutchland, Osterreich und der Schweiz. Reprint by Johnson Repr. Corp. New York, Vol. 10 Section 3, Parte 1: 617 pp.

Solís J, Velazco F. 2011. Componente geológica del monitoreo ambiental frente al ecosistema marino de la playa de San Juanito, Marcona, Ica. Informe interno.

Solís J, Velazco F. 2012. Componente geológica del monitoreo ambiental en la zona entre Punta San Nicolás y Punta San Fernando, Marcona, Nazca, Ica. Informe interno.

Sneath P H, Sokal R R. 1973. Numerical taxonomy. The principles and practice of numerical classification.

Steindinger K, Tangen K. 1996. Dinoflagellates. In Tomas, C. (ed). Identifying Marine Diatoms and Dinoflagellates. Academic Press. Inc. San Diego. 387. 387-570.

Sournia A. 1967. Le genre Ceratium (Peridinien Planctonique) dans le Canal de Mozambique. Contribution a une révision mondiale. Vie et Milieu. 18 (2A-(A): 375-580 pp.

Strickland J, Parsons T. 1972. Practical Handbook of Seawater Analysis. Fisheries Board of Canada. Ottawa. Bulletin 167.

Throndsen J. 1978. Preservation and storage. In: Sournia (ed). Phytoplankton manual. UNESCO. Paris: 69-74.

Utermöhl H. 1958. Zur vervollkomnung der quantiven Phytoplankton methodik Mitt. Inter. Ver. Limnol. 9: 1-38.

Van Guelpen L, Markle D F, Duggan D J. 1982. An evaluation of accuracy, precision, and speed of several zooplankton sub-sampling techniques. J. Cons. int. Explor. Mer, 40: 226-236.

Velazco F, Solís J. 2009. Componente geológica. Evaluación Ambiental en la Playa San Juanito, Marcona, Ica. Informe Interno.

Walsh J J, Dugdale J. 1971. Un modelo de simulación del flujo del nitrógeno en el sistema de afloramiento del Perú. Inv. Pesq. 35(1): 309-330.