

VARIABILIDAD OCEANOGRÁFICA FRENTE A SAN JOSÉ-ISLAS LOBOS DE AFUERA (LAMBAYEQUE) SU RELACIÓN CON LA EXTENSIÓN SUR DE LA CORRIENTE DE CROMWELL Y LOS FRENTE OCEÁNICO Y ECUATORIAL (2017)

OCEANOGRAPHIC VARIABILITY OFF SAN JOSE- LOBOS DE AFUERA ISLANDS (LAMBAYEQUE) AND ITS RELATION TO THE CROMWELL CURRENT SOUTHERN EXTENSION AND THE OCEANIC AND EQUATORIAL FRONTS (2017)

Javier Castro¹

David Torres

Sergio Bances

Yohana Céspedes

RESUMEN

CASTRO J, TORRES D, BANCES S, CÉSPEDES Y. 2020. Variabilidad oceanográfica frente a San José-Islands Lobos de Afuera (Lambayeque) su relación con la extensión sur de la Corriente de Cromwell y los frentes oceánico y ecuatorial (2017). *Inf Inst Mar Perú*. 47(3): 411-438.- Se dan a conocer las condiciones oceanográficas observadas en el mar de Lambayeque durante el año 2017 en base a seis prospecciones oceanográficas realizadas en una sección de 50 mn, desde la caleta San José hasta islas Lobos de Afuera. Se evidencian los efectos del evento El Niño Costero 2017 dentro de la variabilidad oceanográfica que caracteriza al mar de Lambayeque, predominando anomalías positivas de la temperatura superficial en la primera mitad del año como consecuencia del avance de las ASS y AES durante los primeros meses del año interactuando con las ACF que estuvieron muy restringidas cerca de la costa, en el segundo semestre se restablecieron las condiciones neutras y después frías hacia fines de año configurándose como La Niña débil. El afloramiento costero se alteró en persistencia e intensidad hasta la primavera. Los recursos demersales y costeros tuvieron un comportamiento inusual, dispersándose y ausentándose de sus áreas habituales de pesca. La alta concentración de oxígeno disuelto a más de 100 m de profundidad evidenció la proyección de la ESCC hasta agosto, en la primavera comenzó su repliegue al norte del área de estudio. En las prospecciones entre abril y agosto se encontraron, a nivel del fondo muy cerca de la costa, masas de agua con tenores de oxígeno disuelto menores a 0,5 mL.L⁻¹, coincidiendo con incremento de temperatura del mar; en octubre y noviembre se encontraron amplias zonas sobre el fondo en condiciones de hipoxia, relacionado al ascenso de la mínima de oxígeno adelantada.

PALABRAS CLAVE: El Niño costero 2017, variabilidad oceanográfica, San José-Is. Lobos de Afuera, Perú

ABSTRACT

CASTRO J, TORRES D, BANCES S, CÉSPEDES Y. 2020. Oceanographic variability off San Jose- Lobos de Afuera islands (Lambayeque) and its relation to the Cromwell Current Southern Extension and the oceanic and equatorial fronts (2017). *Inf Inst Mar Peru*. 47(3): 411-438.- This paper presents the oceanographic conditions observed off Lambayeque's coast in 2017 which are based on six oceanographic surveys conducted in a 50 nm section, from San José Cove to Lobos de Afuera Islands. The oceanographic variability that characterizes the sea off Lambayeque shows the effects of the El Niño Costero 2017. In the first semester, positive surface temperature anomalies were predominant as a result of the advance of the SSW and SEW in the early part of the year interacting with the CCW that were very restricted near-shore. In the second semester, the neutral conditions were reestablished and then they get cold by the end of the year, resulting in a weak La Niña. The coastal upwelling was altered in persistence and intensity until spring. Demersal and coastal resources behaved unusually, being dispersed and absent from their usual fishing areas. The high concentration of dissolved oxygen at a depth of more than 100 m revealed the projection of the CCSE until August; then, in spring, it began its withdrawal to the north of the study area. Between April and August, the surveys showed, at the bottom level very near-shore, water masses with dissolved oxygen contents of less than 0.5 mL.L⁻¹, which coincided with the increase in sea temperature; in October and November, hypoxic conditions were found in large areas above the bottom, related to the rise of the advanced oxygen minimum zone.

KEYWORDS: El Niño Costero 2017, oceanographic variability, San José-Is. Wolves Outside, Peru

1. INTRODUCCIÓN

La mayor parte de la costa del Perú está influenciada por aguas de la corriente de Humboldt que es una corriente fría que fluye de sur a norte a lo largo de la costa occidental de

Sudamérica; conocida también como Corriente Peruana o del Perú, y en su límite norte se encuentra la región Lambayeque, este límite altamente variable y difuso determina que esta zona presente condiciones oceanográficas variables, con una dinámica oceánica muy

¹ IMARPE, Laboratorio Costero Santa Rosa. jcastro@imarpe.gob.pe

compleja, como lo afirma MORÓN (2000), la costa de Lambayeque se caracteriza por poseer una línea litoral paralela a la dirección de los vientos del SE, que favorece los afloramientos costeros, además de presentar una amplia plataforma continental cuya batimetría de suave declive es interrumpido cerca de su límite por formaciones insulares, las islas Lobos de Tierra y Lobos de Afuera, estas últimas incluidas en el área de estudio a 45 mn de la costa. El talud continental es ligeramente abrupto y su cercanía al grupo insular, representa un punto de convergencias de influencias neríticas y oceánicas múltiples, además el área se encuentra en una zona de afloramiento costero de aguas ricas en nutrientes, que generan abundancia relevante de recursos marinos. La zona está caracterizada, además, por el predominio de las Aguas Costeras Frías (ACF) durante la mayor parte del año, con aproximaciones de Aguas Subtropicales Superficiales (ASS), principalmente en invierno, y ocasionalmente las Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES) avanzan hacia el sur en eventos cálidos de distinta magnitud; por otro lado, la zona constituye el extremo sur de la Extensión Sur de la Corriente Cromwell (ESCC).

La alta variabilidad de la zona, está condicionada por eventos de macroescala (El Niño) o mesoescala (proyección de AES en la capa superficial o el arribo de Ondas Kelvin), las mismas que generan una mayor proyección de la ESCC. El evento El Niño es la principal perturbación de gran escala que afecta a la región, con su contraparte atmosférica, la Oscilación del Sur. ENFIELD (1989) proporciona una de las interpretaciones de mayor aceptación al respecto, al afirmar que los eventos El Niño ocurren como un ciclo interno de retornos positivos y negativos dentro del acoplamiento del sistema océano-atmósfera del Pacífico tropical. Por otra parte, las ondas Kelvin ecuatoriales que se generan y se propagan desde el oeste hacia Sudamérica, deprimen la termoclina, aumentan el nivel del mar y el resultado de estos cambios se traduce en un aumento de la temperatura superficial y en un aumento del nivel del mar.

Es así que, estas prospecciones adquieren interés ya que combinando la información física y química obtenida nos consienten describir las asociaciones o acoplamientos biológicos a la variabilidad oceanográfica estacional e interanual del océano en el área de Lambayeque, permitiendo cuantificar la interacción y efectos de las variaciones oceanográficas y sus principales manifestaciones como las ondas Kelvin, desplazamiento del frente oceánico, proyección de la ESCC, el afloramiento costero, así como las proyecciones de las distintas masas de agua y la influencia que éstas ejercen sobre las áreas adyacentes.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio y frecuencia de muestreo

El área de estudio está localizada en el mar adyacente a la región Lambayeque en la costa norte del Perú, el cual forma parte, según la opinión de muchos investigadores, el extremo norte del sistema de la corriente Peruana o de Humboldt y está ubicada también en la zona de afloramiento costero frente a Pimentel – Chicama, MORÓN (2000).

Las prospecciones se realizaron en una sección a lo largo de un perfil de 50 mn entre San José ($6^{\circ}46'00''S$, $79^{\circ}59'33''W$) y 5 mn al oeste de las islas Lobos de Afuera ($06^{\circ}56'30''S$, $80^{\circ}47'02''W$), formada por siete estaciones oceanográficas fijas localizadas en forma casi perpendicular a la costa (Fig. 1). La zona de estudio se encuentra delimitada sobre una de las partes más amplias de la plataforma continental peruana (>50 mn), de relieve suave sin cambios bruscos de profundidad a excepción del grupo insular llamado Lobos de Afuera.

Durante las prospecciones se realizó el registro de temperatura y se tomaron muestras de agua para determinación de salinidad, nutrientes (fosfatos, silicatos, nitratos y nitritos), clorofila "a" y oxígeno disuelto en la superficie y en la sección a diferentes profundidades hasta 1 metro del fondo.

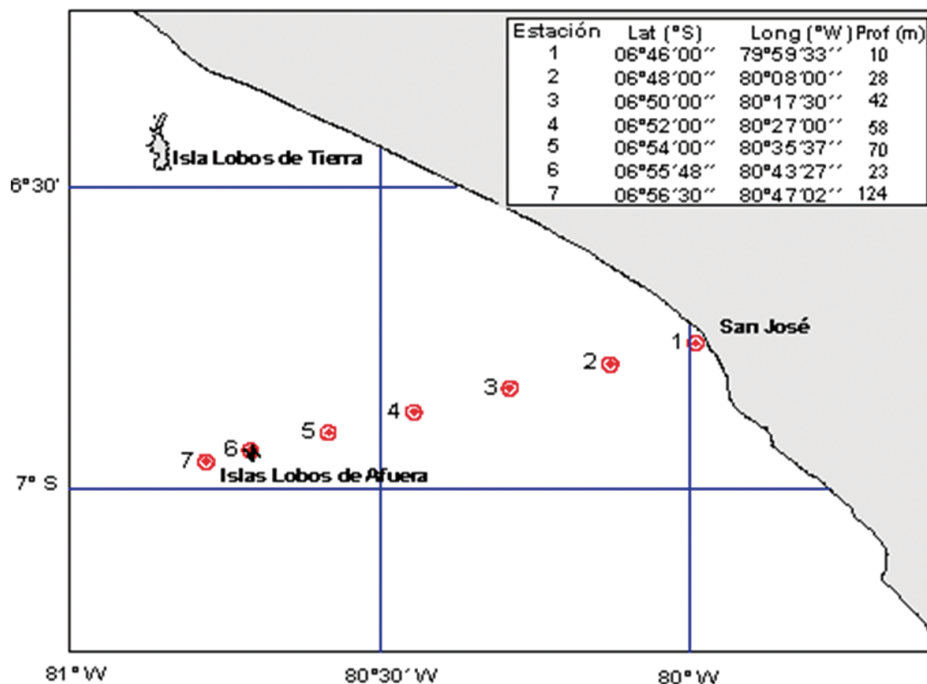


Figura 1.- Mapa mostrando las estaciones de muestreo a lo largo del perfil San José – Is. Lobos de Afuera, 2017

Parámetros oceanográficos

Los parámetros oceanográficos fueron registrados durante seis campañas oceanográficas realizadas a lo largo del año, en siete estaciones fijas ubicadas en una sección frente al litoral de Lambayeque, las cinco primeras ubicadas entre las islas Lobos de Afuera y el continente, separadas por una distancia de diez millas náuticas entre sí, la sexta se ubica muy cerca de la isla, mientras que la séptima estación se localiza a cinco millas náuticas al oeste del grupo insular Lobos de Afuera; esta última ubicada así para obtener información de los mismos parámetros evitando el “efecto isla” (para producir afloramiento) y comparar los datos de las condiciones oceánicas y costeras.

En cada estación se realizaron mediciones de temperatura superficial con un termómetro simple y a distintas profundidades con un termómetro de inversión adherido a la botella muestreadora lanzada hasta una profundidad de 100 metros.

Las muestras para el análisis de salinidad fueron conservadas a temperatura ambiente y llevadas al Laboratorio Costero de Paita, en donde fueron analizadas con ayuda de un Salinómetro Portasal 8410A, la medición del pH se realizó a

bordo usando la técnica potenciométrica con un pH-metro Hach modelo HQ40d provisto de un electrodo de vidrio IntelliCAL PHC101. La determinación del oxígeno disuelto se realizó *in situ* empleándose el método de Winkler modificado por CARRIT & CARPENTER (1966), las muestras para el análisis de nutrientes fueron conservadas en refrigeración y llevadas a la sede del Laboratorio Costero de Santa Rosa en donde se realizó el análisis mediante el método espectrofotométrico empleando un Espectrofotómetro Lambda-40, estas muestras, al igual que las de salinidad, oxígeno disuelto y clorofila fueron tomadas en cada estación oceanográfica, empleando una botella Niskin a profundidades preestablecidas de 0, 10, 25, 50, 75 y 100 metros.

Con los datos obtenidos se prepararon figuras de distribución vertical utilizando programas de interpolación.

Parámetros biológicos

El fitoplancton fue recolectado con una red estándar de 75 micras de tamaño de malla, en cada estación se realizaron arrastres horizontales de 5 minutos y a 3 nudos de velocidad. Las muestras fueron recolectadas en frascos transparentes

de 200 mL y se fijaron con 10 mL de formalina neutralizada al 20%.

Para la obtención de volúmenes de plancton, las muestras sin sobrenadante se colocaron en tubos de centrifuga de 15 mL, los cuales fueron centrifugados durante 5 minutos a 2400 RPM, luego se registró la lectura de las mismas para determinar su volumen en mL, este resultado se dividió entre 6,6273 m³ que es el volumen estimado de agua filtrada por la red. Para el análisis cualitativo, se extrajo dos alícuotas de muestra en placas Petri, para evaluar la predominancia de cada organismo, teniendo en cuenta los valores mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1.- Valores de predominancia del zooplancton

| Células x campo | Símbolo | Significado |
|-----------------|---------|---------------|
| 0 | 0 | Ausente |
| 1-5 | 1 | Presente |
| 6-15 | 2 | Escaso |
| 16-25 | 3 | Abundante |
| Más de 25 | 4 | Muy abundante |

Para la determinación taxonómica de los diferentes organismos del fitoplancton se consultaron los trabajos de SUNDSTRÖM (1986), BALECH (1988) y CARMELO (1996).

En el caso del zooplancton, el análisis cuantitativo se llevó a cabo fraccionando las muestras en submuestras de diferentes volúmenes, dependiendo de la densidad de cada grupo taxonómico en la muestra total, siguiendo el método beakers *Huntsman Marine Laboratory* (VAN GUELPEN *et al.*, 1982). La submuestra obtenida fue colocada en placas tipo Bogorov para su análisis con la ayuda de un estereomicroscopio. El volumen de zooplancton se determinó según el método de desplazamiento de volúmenes húmedos (KRAMER *et al.*, 1972).

Para recolectar las muestras se utilizó una red cónica de 50 cm de diámetro de boca y una abertura de malla de 300 micras; los arrastres fueron superficiales, durante un lapso de 5 minutos y a una velocidad aproximada de 3 nudos. El volumen de agua filtrada se estimó por medio de un flujómetro colocado en la boca de la red. Las muestras obtenidas, fueron almacenadas en frascos de boca ancha de 350

mL. Los organismos recolectados se preservaron con formalina al 4% neutralizada con borato de sodio; adicionalmente, se realizaron arrastres oblicuos con una red Baby Bongo de 22 cm de boca provista con una red de 150 micras y otra de 300 micras.

3. RESULTADOS

Temperatura superficial del mar

El año 2017 estuvo marcado por el desarrollo de un evento cálido que por sus impactos, asociados a lluvias e inundaciones, se consideró como el tercer Fenómeno "El Niño" más intenso de al menos los últimos cien años para el Perú (ENFEN, Informe Técnico Extraordinario N°001-2017) aunque de corta duración. El Niño Costero manifestó su inicio con elevación de anomalías térmicas en la estación costera de San José en la segunda semana de enero y concluyó en mayo, marcando fluctuaciones entre condiciones cálidas y frías durante el segundo trimestre del año, para mantener condiciones frías hasta fin de año.

El promedio mensual de las ATSM en enero y febrero 2017 fue alto, alcanzando su máximo en marzo, disminuyendo rápidamente hasta llegar a su normalidad en mayo. La TSM se mantuvo dentro de sus valores esperados desde mediados de otoño y todo el invierno para volverse negativas durante la primavera, cuando alcanzó la anomalía diaria más baja del año el 12 de diciembre con -2,5 °C y la más baja mensual con -1,2°C (Fig. 2).

Los promedios mensuales de la TSM fluctuaron entre 18,5 y 27,5 °C, en octubre y marzo, respectivamente, y las anomalías térmicas variaron entre +5,1 en marzo y -1,2 °C en diciembre. Lo que podría caracterizar a ese año como uno de los más cálidos de los que se tiene registro en Lambayeque.

En el área de muestreo se cuenta con la temperatura patrón en base a los registros efectuados desde el 2001. Las prospecciones realizadas entre abril y noviembre 2017 permitieron determinar que la TSM fluctuó entre 16,0 (octubre) y 21,3°C (abril) y las anomalías térmicas positivas se presentaron desde abril (+1,9 °C) hasta agosto (Fig. 3).

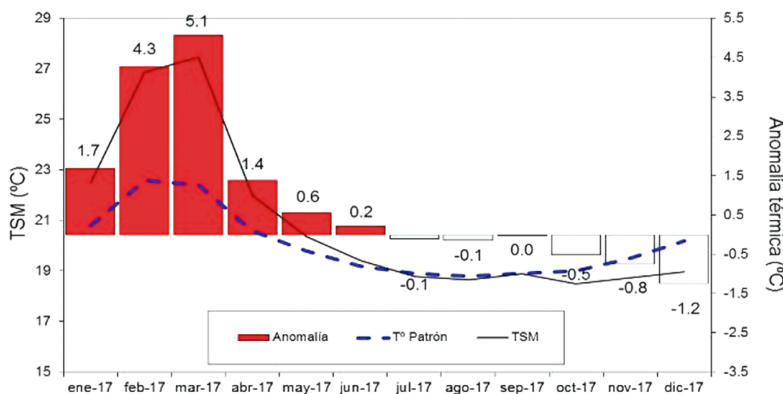


Figura 2.- Serie de tiempo de la TSM registrada en la playa de San José, 2017

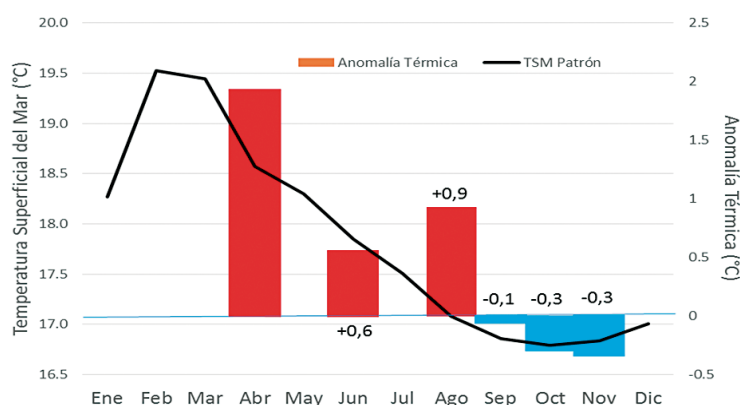


Figura 3.- Anomalías de temperatura superficial del mar registradas en el perfil oceanográfico San José – Islas Lobos de Afuera, respecto a la temperatura superficial mensual patrón, 2017

Las observaciones durante el 2017 permitieron determinar que si bien el predominio de las anomalías térmicas positivas ocurrió hasta agosto, éstas fueron mayores al año anterior, permitiéndonos inferir y, de acuerdo a lo observado en la estación San José, que durante el verano las anomalías térmicas lejos de la costa debieron haber sido más altas. Además, estas condiciones no se reflejaron en forma similar cerca de la costa, ya que durante el segundo trimestre las condiciones en el litoral comenzaron a descender por efecto del afloramiento costero

y durante las prospecciones se registraron condiciones más frías que las observadas lejos de la costa, que presentaron temperaturas altas relacionadas con el predominio de masas de agua oceánicas.

En las prospecciones, las temperaturas más altas se registraron en abril (inicios de otoño) con 21,3 °C como promedio, lo que significó que la anomalía promedio para ese mes fue de +1,5 °C la segunda más alta con respecto al patrón (Tabla 2, Figs. 4, 5).

Tabla 2.- Temperatura superficial del mar por estación, promedio para el área, registradas durante los perfiles oceanográficos en el 2017

| Mes | Est. 1 | Est. 2 | Est. 3 | Est. 4 | Est. 5 | Est. 6 | Est. 7 | TSM Promedio |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------|
| Abril | 20,5 | 19,8 | 20,5 | 22,6 | 22,5 | 21,3 | 21,9 | 21,3 |
| Junio | 18,4 | 17,9 | 19,9 | 19,7 | 20,6 | 20,6 | 21,4 | 19,8 |
| Agosto | 18,0 | 16,8 | 17,8 | 17,8 | 17,7 | 17,9 | 17,8 | 17,7 |
| Septiembre | 16,8 | 15,5 | 15,4 | 16,3 | 16,4 | 16,4 | 16,4 | 16,2 |
| Octubre | 16,5 | 15,2 | 15,4 | 16,0 | 16,0 | 16,2 | 16,7 | 16,0 |
| Noviembre | 16,5 | 15,4 | 15,9 | 18,0 | 17,8 | 18,7 | 18,8 | 17,3 |

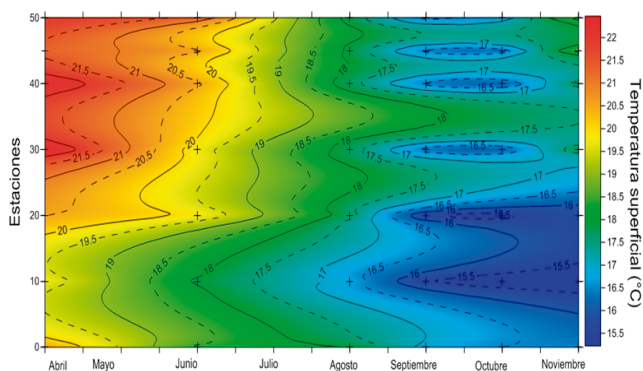


Figura 4.- Distribución espacio temporal de la temperatura superficial del mar a lo largo del Perfil oceanográfico San José - Lobos de Afuera. 2017

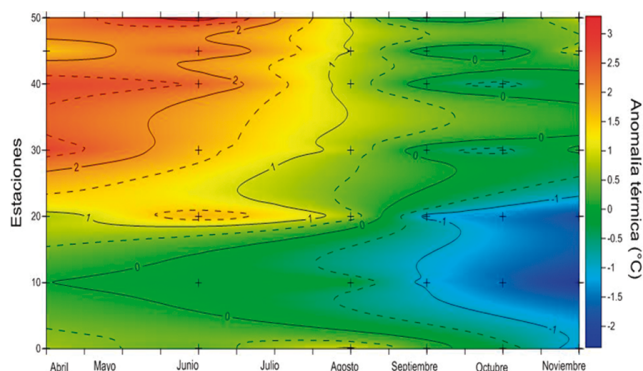


Figura 5.- Distribución espacio temporal de las anomalías térmicas en la superficie del mar a lo largo del Perfil oceanográfico San José - Is. Lobos de Afuera. 2017

Entre abril y junio la retracción de las ACF y proyección de aguas cálidas en casi toda el área generaron condiciones térmicas variables. La variación térmica superficial entre la costa y las 50 mn, alcanzó 3,0 °C en junio a diferencia de lo observado en abril que fue de 1,4 °C cuando las condiciones cálidas eran más homogéneas en el área.

Oxígeno y Salinidad en superficie

El oxígeno disuelto superficial promedio varió entre 3,99 y 5,00 mL.L⁻¹ en septiembre y abril,

respectivamente, observándose los valores más extremos en abril (2,85 mL.L⁻¹) cerca de la costa relacionada a aguas recientemente afloradas, y 9,41 mL.L⁻¹ a 40 mn de la costa, producto de la fuerte actividad fotosintética (floraciones algales), en donde la interacción entre las aguas afloradas + aguas oceánicas y ecuatoriales + las condiciones favorables de luz, nutrientes y estabilidad de la columna de agua permitió alta productividad primaria, elevando los tenores de oxígeno superficial (Tabla 3, Fig. 6).

Tabla 3.- Oxígeno disuelto superficial en el mar por estación, registrado durante los perfiles oceanográficos en el 2017

| Mes | Est 1 | Est 2 | Est 3 | Est 4 | Est 5 | Est 6 | Est 7 | OD Promedio |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| Abril | 2,85 | 2,95 | 4,91 | 9,41 | 5,72 | 4,77 | 4,40 | 5,00 |
| Junio | 5,52 | 2,76 | 4,79 | 4,54 | 4,28 | 4,14 | 4,42 | 4,35 |
| Agosto | 3,53 | 3,75 | 4,11 | 4,72 | 4,83 | 4,87 | 4,60 | 4,34 |
| Septiembre | 4,24 | 2,77 | 2,59 | 4,20 | 4,74 | 4,55 | 4,82 | 3,99 |
| Octubre | 5,00 | 2,59 | 3,50 | 4,44 | 4,82 | 4,82 | 4,91 | 4,30 |
| Noviembre | 2,44 | 1,93 | 2,94 | 7,86 | 7,13 | 6,81 | 5,90 | 5,00 |

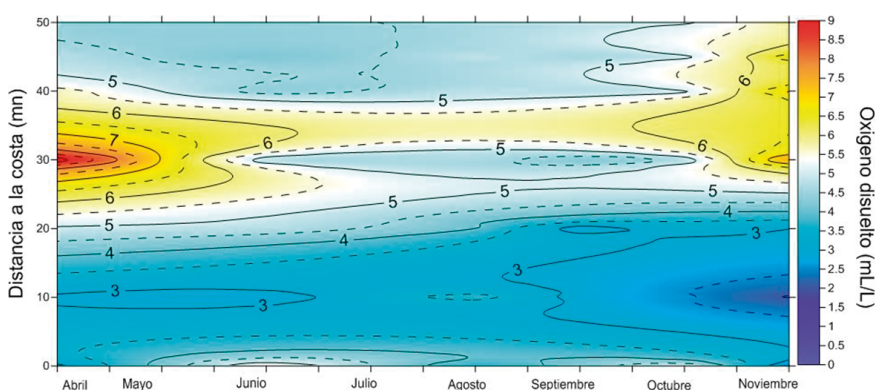


Figura 6.- Distribución espacio temporal del oxígeno disuelto superficial en el mar a lo largo del Perfil oceanográfico San José - Is. Lobos de Afuera. 2017

Tabla 4.- Salinidad superficial en el mar registrado por estación, durante los perfiles oceanográficos, 2017

| Mes | Est 1 (2 mn) | Est 2 (10 mn) | Est 3 (20 mn) | Est 4 (30 mn) | Est 5 (40 mn) | Est 6 (45 mn) | Est 7 (50 mn) | SSM Promedio |
|------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--------------|
| Abril | 34,750 | 34,945 | 34,961 | 34,906 | 34,892 | 34,932 | 34,920 | 34,901 |
| Junio | 35,017 | 35,101 | 35,098 | 35,107 | 35,111 | 35,132 | 35,123 | 35,098 |
| Agosto | 35,116 | 35,119 | 35,136 | 35,189 | 35,113 | 35,117 | 35,125 | 35,131 |
| Septiembre | 35,080 | 35,032 | 35,045 | 35,080 | 35,090 | 35,082 | 35,089 | 35,071 |
| Octubre | 35,015 | 35,008 | 35,001 | 35,052 | 35,018 | 35,023 | 35,049 | 35,024 |
| Noviembre | 34,996 | 34,998 | 35,003 | 35,021 | 35,076 | 35,010 | 35,030 | 35,019 |

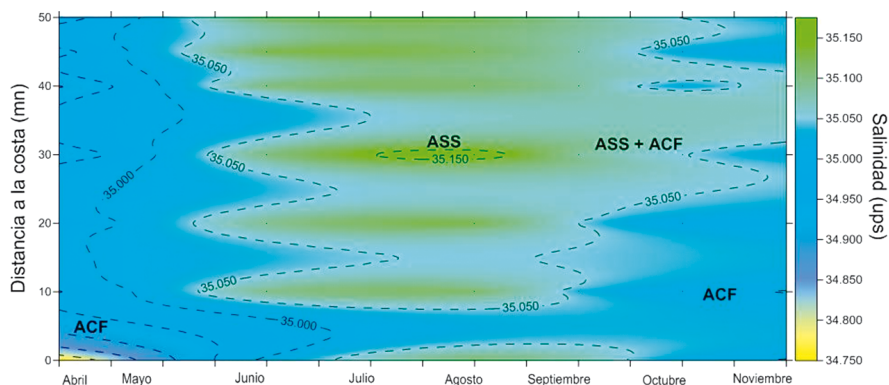


Figura 7.- Distribución espacio temporal de la salinidad superficial en el mar a lo largo del Perfil oceanográfico San José – Is. Lobos de Afuera. 2017

Los promedios de salinidad superficial variaron entre 34,901 y 35,131 ups para abril y agosto, respectivamente. El máximo valor osciló de 35,189 ups a 30 mn de la costa en agosto (Tabla 4, Fig. 7). Durante abril se observó presencia de masas de AES interaccionando con las ASS cerca de la costa, encontrándose anomalías térmicas superiores a +2 °C fuera de las 25 mn de la costa. Las ASS predominaron con salinidades superiores a 35,100 ups entre junio y agosto. Las ACF predominaron en septiembre, en los siguientes meses interaccionaron con las ASS lejos de la costa. Los valores bajos de salinidad, observados en abril, a 2 mn de la costa, fueron consecuencia de los ríos que desembocan en el área.

El potencial de hidrógeno (pH) a nivel superficial reportó valores promedio que variaron entre 7,48 y 8,40 en noviembre y abril, respectivamente, presentándose los más bajos a 2 mn de la costa en noviembre (7,18) y en septiembre (7,34), muy próximo a zonas con bajos valores de oxígeno disuelto superficial (ODS). En abril y agosto, fuera de las 30 mn de la costa, se presentaron los valores más altos de pH, aparentemente relacionados a la presencia de aguas oceánicas y, en octubre y noviembre coincidió con valores altos de ODS producto de la alta concentración de fitoplancton en el área donde condiciones favorables de luz, temperatura y nutrientes permitieron alta productividad primaria (Tabla 5, Fig. 8).

Tabla 5.- Potencial de hidrógeno (pH) superficial en el mar por estación, registrado durante los perfiles oceanográficos, 2017

| Mes | Est 1 | Est 2 | Est 3 | Est 4 | Est 5 | Est 6 | Est 7 | pH Promedio |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| Abril | 8,28 | 8,30 | 8,42 | 8,61 | 8,41 | 8,34 | 8,41 | 8,40 |
| Junio | 7,58 | 7,90 | 8,09 | 8,11 | 8,10 | 7,92 | 8,08 | 7,97 |
| Agosto | 8,16 | 8,22 | 8,23 | 8,30 | 8,33 | 8,26 | 8,30 | 8,26 |
| Septiembre | 7,34 | 7,62 | 7,57 | 7,50 | 7,68 | 7,60 | 7,50 | 7,54 |
| Octubre | 7,54 | 7,73 | 7,68 | 7,67 | 7,76 | 7,70 | 7,65 | 7,68 |
| Noviembre | 7,18 | 7,54 | 7,40 | 7,49 | 7,66 | 7,63 | 7,48 | 7,48 |

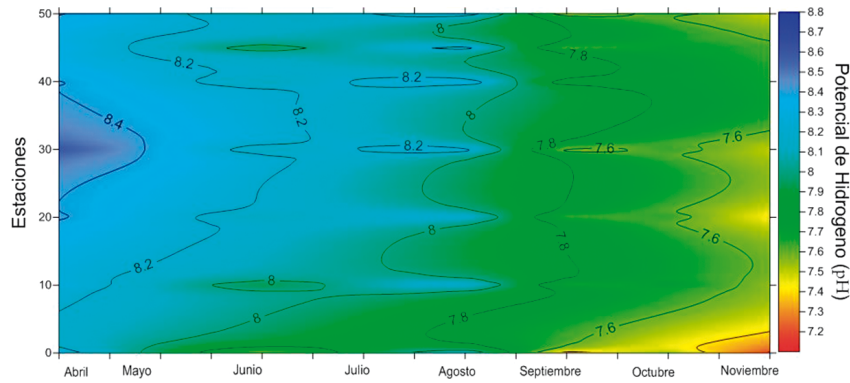


Figura 8.- Distribución espacio temporal del potencial de hidrógeno (pH) superficial en el mar a lo largo del Perfil oceanográfico San José – Is. Lobos de Afuera, 2017

Temperatura, Salinidad y Oxígeno en la sección y fondo

En la figura 9 se observa la variación de la temperatura mensual tanto en superficie como en fondo. En junio se observó la dispersión de las masas cálidas por acción del ascenso de aguas frías sobre los 60 m, presentándose como agua de mezcla entre las ACF+ASS y posterior predominio de las ACF con avances de las ASS en las zonas más alejadas de la costa durante el resto del año.

Este enfriamiento se presentó debido a que se sucedieron episodios de intensificación de los vientos de componente sur, los cuales fueron responsables de la intensificación de los afloramientos en la segunda mitad del año y la retracción de las ASS. Posteriormente, intensificaciones esporádicas e intermitentes de vientos del sur permitieron mayor proyección de las ACF y la rápida retracción de las masas de aguas cálidas, las que fueron reemplazadas por aguas frías de la corriente peruana durante el segundo semestre del año.

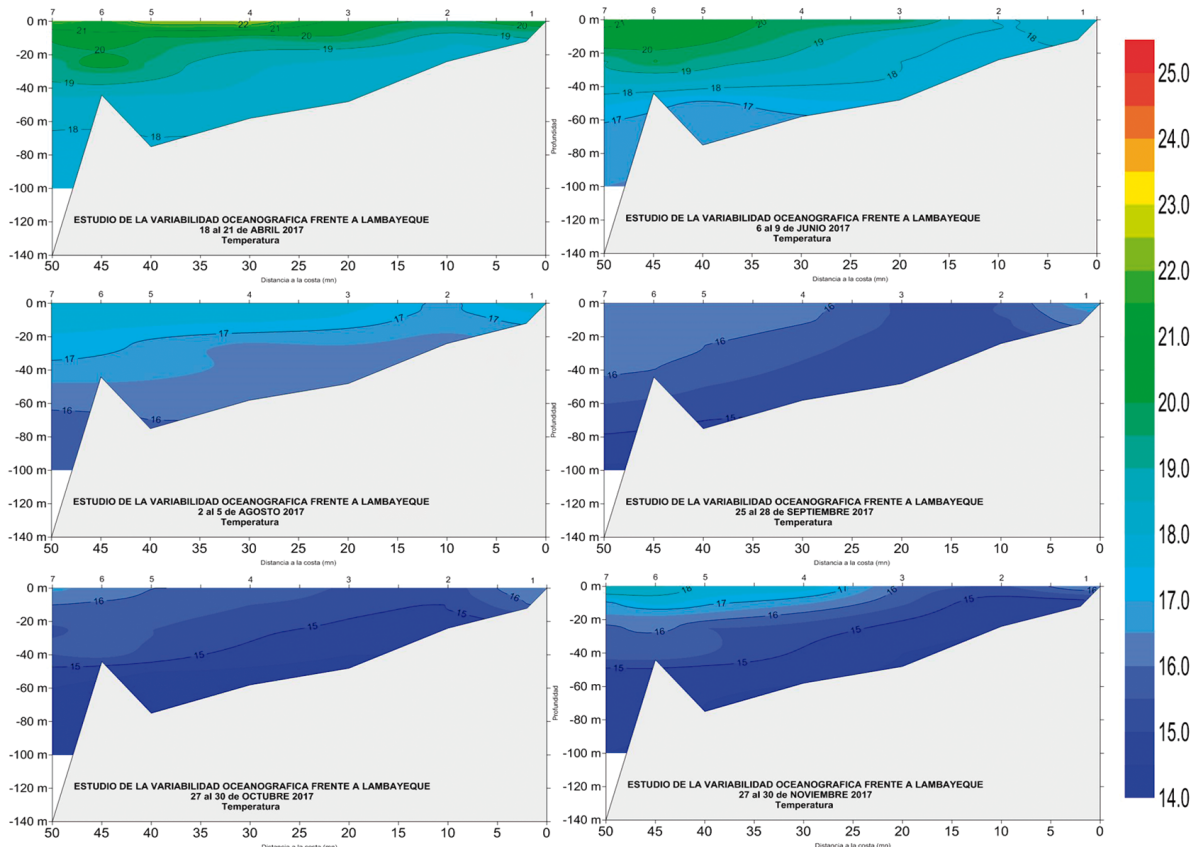


Figura 9.- Distribución de la temperatura en la sección en los distintos perfiles oceanográficos San José – Is. Lobos de Afuera, 2017

Desde finales de otoño y todo el invierno las temperaturas se encontraron dentro de su variabilidad esperada, en las prospecciones realizadas en junio y agosto las temperaturas registradas fueron superiores a las esperadas y superiores a las registradas en la caleta San José, reflejando la persistencia de condiciones cálidas lejos de la costa. Durante las prospecciones entre septiembre y noviembre se evidenció el establecimiento de condiciones frías en el área, con el ascenso hasta la superficie de la isoterma de 16 °C cerca de la costa, con la disminución de la gradiente térmica vertical predominando las isotermas de 15 y 16 °C, observándose la intensificación del enfriamiento en octubre y posterior atenuación del proceso frío en noviembre coincidiendo con el avance de la primavera.

Analizando la información obtenida a 50 mn de la costa , se detectó que la presencia de aguas cálidas ocurrió hasta agosto y luego se produjo

un rápido enfriamiento ante el ascenso de las isolíneas de 17 °C, que alcanzó la superficie en setiembre, incluso la isoterma de 16 °C llegó casi hasta la superficie entre septiembre y octubre. Las condiciones cálidas (El Niño), solo se observó hasta mayo cuando finalizó, pero alteró el comportamiento estacional del ascenso de la isoterma de 15 °C en los meses invierno.

Con la finalización del evento El Niño durante el otoño y el retorno a condiciones típicas, la isoterma de 15 °C comenzó su ascenso y pudo ser observada en forma tardía desde septiembre y en octubre y noviembre se ubicó sobre los 50 m de profundidad a 50 mn de la costa e incluso llegó a hacerse casi superficial en esos meses (Fig. 10).

Sobre el fondo las temperaturas >15 °C predominaron en toda la sección entre septiembre y noviembre, incluso llegaron a aparecer a 8 mn de la costa por encima de los 20 m de profundidad en noviembre (Fig. 11).

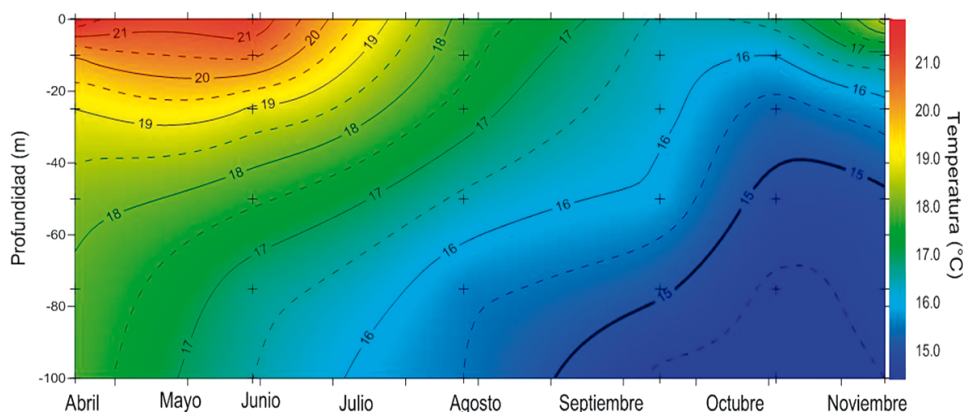


Figura 10.- Distribución de la temperatura en la estación 7 (50 mn de la costa), Perfil oceanográfico San José – Is. Lobos de Afuera. 2017

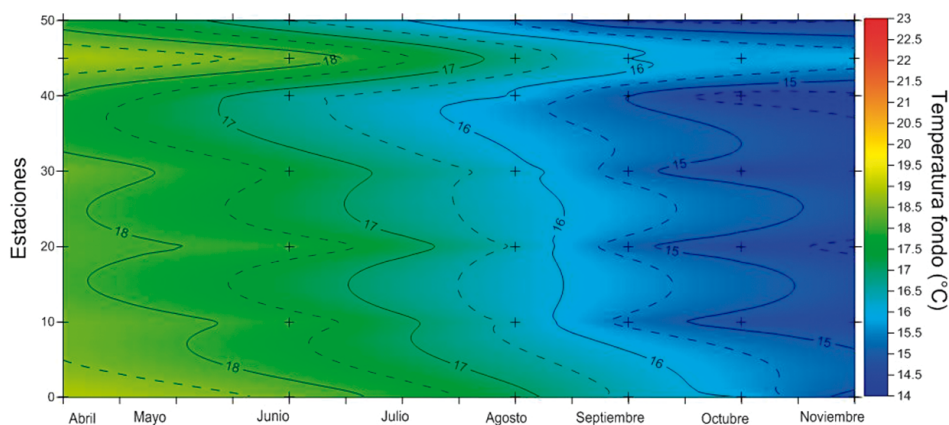


Figura 11.- Distribución espacio-temporal de las temperaturas cerca del fondo, Perfil oceanográfico San José – Is. Lobos de Afuera. 2017

Durante abril la salinidad presentó concentraciones bajas sobre 40 m de profundidad en comparación con las temperaturas imperantes, debido a la mezcla de masas de ASS y las AES y muy cerca de la costa los valores mínimos estuvieron relacionados con las aguas de los ríos cercanos; por debajo de 40 m de profundidad se encontraron aguas con salinidades superiores a 35,100 ups, alcanzando concentraciones cercanas a 35,200 ups a 50 m de profundidad y a 50 mn de la costa.

Las concentraciones halinas disminuyeron progresivamente desde abril hasta noviembre con el predominio de salinidades menores a 35,050 ups en toda la sección, relacionados al ingreso de las ACF que se habrían expandido ante la intensificación de los vientos del sur con el avance del invierno y la primavera (Fig. 12). En el segundo semestre se observó el restablecimiento de las condiciones normales en el área con el predominio de las ACF en octubre, e incluso

relativamente frías en noviembre en la mayor parte del área.

A 50 mn de la costa y 100 m de profundidad se observó la presencia de las ASS desde las capas más superficiales hasta 60 m de profundidad entre abril y septiembre, luego de lo cual las ACF intensificaron su proyección más allá de las 50 mn de la costa en noviembre (Fig. 13).

La concentración de oxígeno disuelto evidenció presencia de aguas de la ESCC particularmente intensa en abril, con concentraciones superiores a 2 mL.L⁻¹ a 100 m de profundidad, dejando sentir su influencia hasta agosto en la misma profundidad, cuando se encontraron concentraciones >1 mL.L⁻¹. En la prospección de septiembre se observaron concentraciones <0,5 mL.L⁻¹ a 100 m de profundidad, y durante noviembre el límite superior de la mínima de oxígeno llega a hacerse casi superficial muy cerca de la costa.

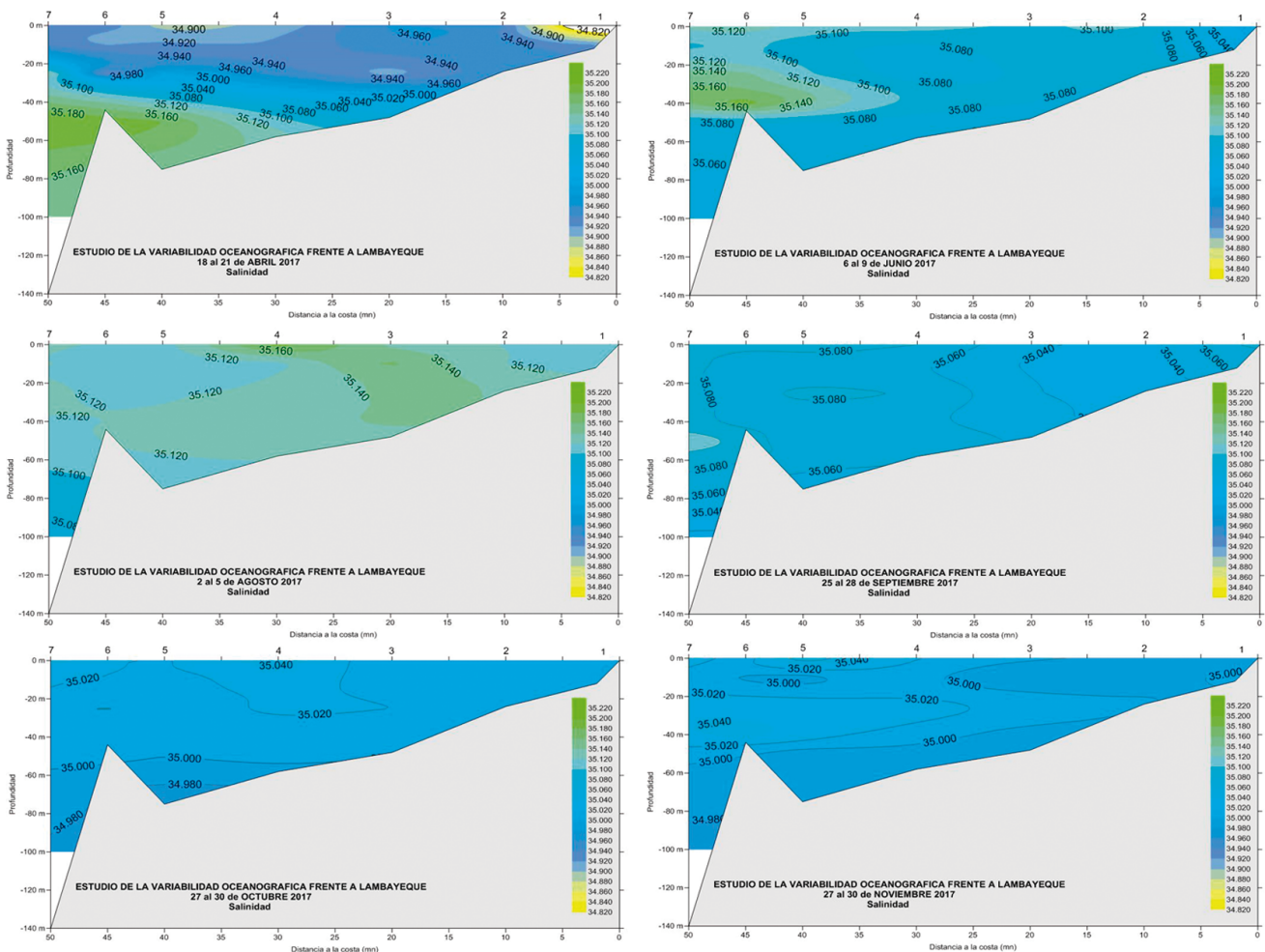


Figura 12.- Distribución de la salinidad (ups) en la sección San José – Is. Lobos de Afuera, en los distintos perfiles oceanográficos, 2017

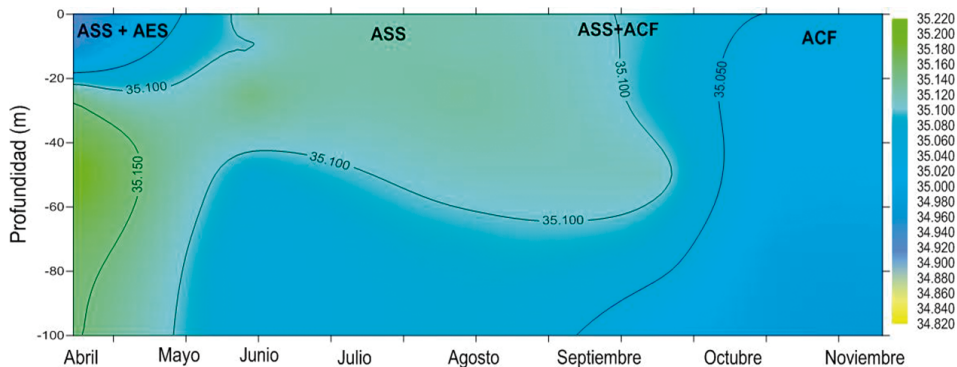


Figura 13.- Distribución de la salinidad entre 0 y 100 m de profundidad a lo largo del tiempo en la estación 7 (50 mn de la costa), Perfil oceanográfico San José – Is. Lobos de Afuera. 2017

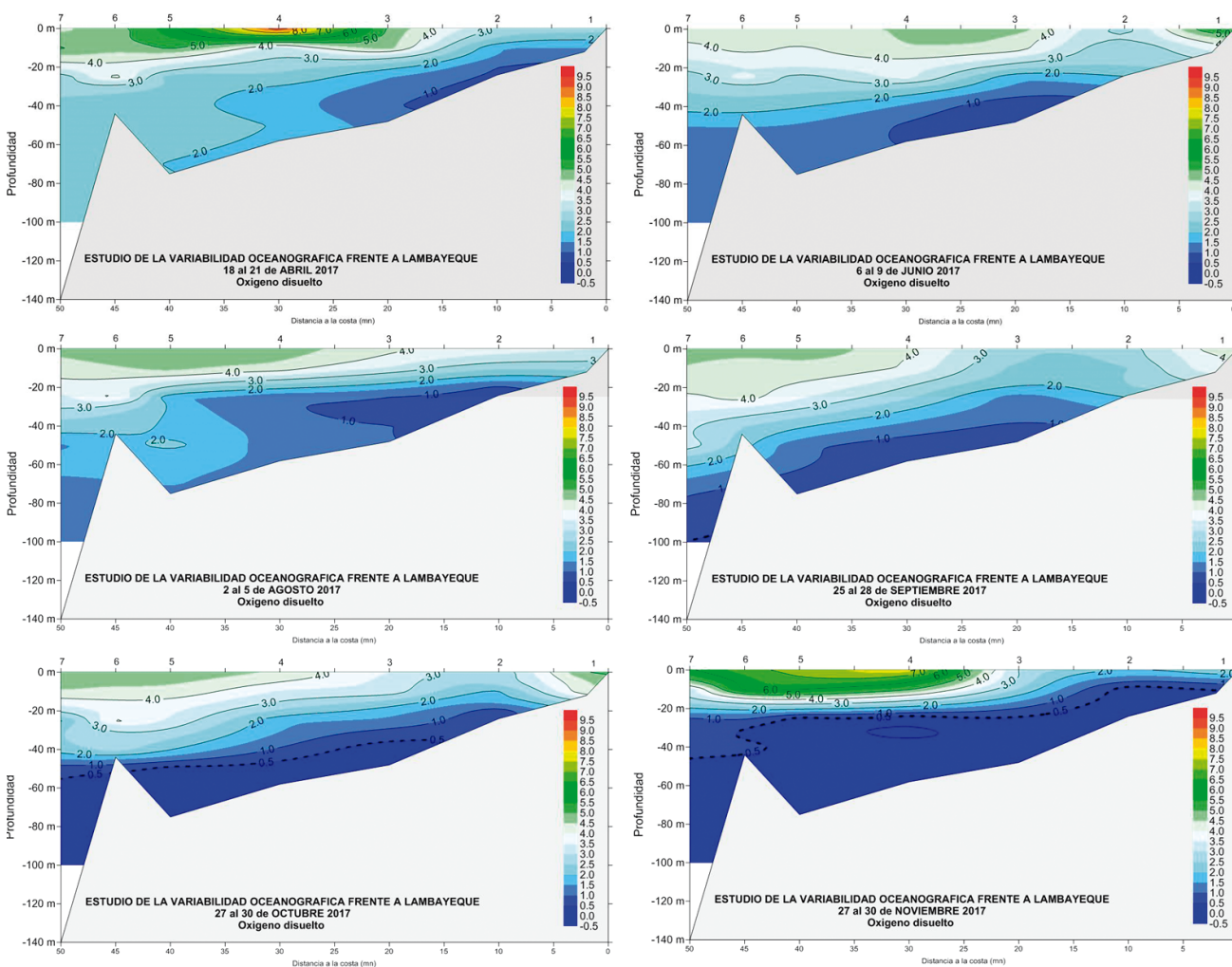


Figura 14.- Distribución del oxígeno disuelto en Perfil oceanográfico San José – Is. Lobos de Afuera, 2017

Entre abril y agosto se observaron aguas hipóxicas que se extendieron cerca del fondo en contraposición a las altas concentraciones de oxígeno disuelto cerca del fondo al oeste de las islas (Fig. 14).

Del análisis de la serie de tiempo en la estación 7, ubicada a 50 mn de la costa, se observó la

aproximación de aguas cálidas ASS. Durante abril se produjo una depresión importante de las isolíneas de concentración de oxígeno disuelto, incluso la isolínea de 2 mL/L se profundizó más allá de 100 m de profundidad, pero en junio se observó una disminución importante de la concentración de oxígeno disuelto en la columna de agua que coincidió con el fin de El

Niño Costero en mayo, aunque la isoxígena de 0,5 mL/L recién se observó a inicios de primavera hasta llegar cerca de 40 m de profundidad en noviembre. Entre septiembre y octubre se detectó depresión de las isolíneas de concentración de oxígeno disuelto que coincidió con un ligero calentamiento observado en la costa (Fig. 15).

Cerca del fondo se encontró a la isoxígena de 0,5 mL/L en septiembre cerca de los 100 m de profundidad a 50 mn de la costa, para desplazarse hasta 20 mn de la costa en octubre y poco menos de 10 mn en noviembre, solo durante abril se encontraron concentraciones superiores a 1 mL/L en toda

el área. Zonas al oeste de las islas Lobos de Afuera y a mayores profundidades se encontraron valores altos de oxígeno hasta agosto lo que indicó presencia de aguas de la ESCC que se vio particularmente intensificada entre abril y junio (Fig. 16).

Nutrientes: Fosfatos, Silicatos, Nitratos, Nitritos

Fosfatos.- Las concentraciones promedio en aguas superficiales variaron entre 1,46 y 2,54 μM en abril y octubre, respectivamente. Los valores más bajos se encontraron en abril a 40 mn de la costa con 0,42 μM en el área de mezcla entre las ASS+AES y las aguas adventadas desde la costa (Tabla 6).

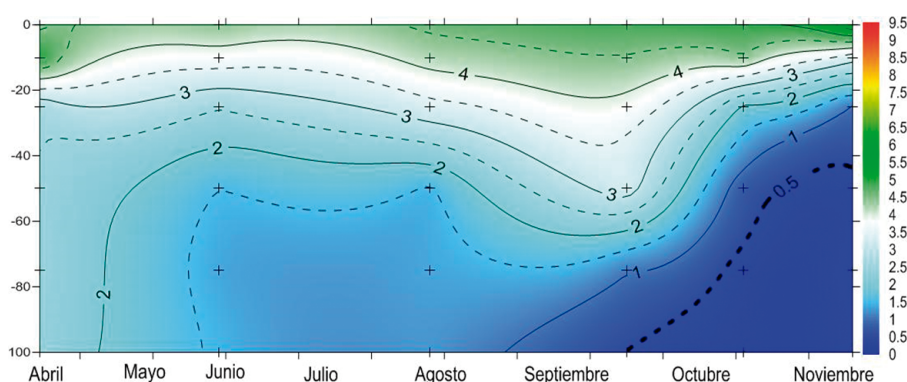


Figura 15.- Distribución del oxígeno disuelto (mL/L) a lo largo del tiempo en la estación 7 (50 mn de la costa). Perfil oceanográfico San José – Is. Lobos de Afuera. 2017

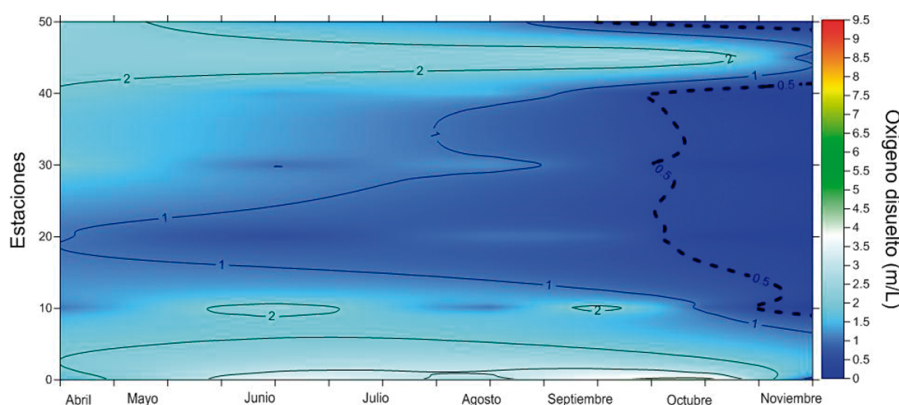


Figura 16.- Distribución sobre el fondo del oxígeno disuelto (mL/L), a lo largo del tiempo. Perfil oceanográfico San José – Is. Lobos de Afuera. 2017

Tabla 6.- Concentración de fosfatos (μM) en superficie por estación, registrado durante los perfiles oceanográficos, 2017

| Mes | Est 1 | Est 2 | Est 3 | Est 4 | Est 5 | Est 6 | Est 7 | Promedio |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| Abril | 2,48 | 1,30 | 2,03 | 1,45 | 0,42 | 1,47 | 1,06 | 1,46 |
| Junio | 3,10 | 1,84 | 1,62 | 1,84 | 2,09 | 2,01 | 1,33 | 1,98 |
| Agosto | 1,92 | 1,75 | 2,42 | 2,20 | 1,66 | 1,95 | 1,56 | 1,92 |
| Septiembre | 3,10 | 2,23 | 2,32 | 2,07 | 2,03 | 2,16 | 2,45 | 2,34 |
| Octubre | 2,59 | 2,45 | 2,07 | 2,88 | 2,69 | 2,79 | 2,30 | 2,54 |
| Noviembre | 3,61 | 3,60 | 2,49 | 1,56 | 0,48 | 0,33 | 0,67 | 1,82 |

Los organismos fotosintetizadores, como el fitoplancton, satisfacen sus requerimientos de este nutriente durante la fotosíntesis, por lo que las bajas concentraciones obtenidas en abril se deberían al aumento del fitoplancton como floraciones algales en la zona de confluencia de masas de agua (ASS+AES+aguas de afloramiento) unido al incremento de la temperatura y luz solar. En noviembre se observaron mayores concentraciones ante el afloramiento cerca de la costa, además de la importante disminución en su concentración fuera de las 30 mn (Fig. 17).

Su distribución estuvo condicionada al tipo de masa de agua predominante, a la intensidad del afloramiento costero y a los procesos biogeoquímicos, en abril se presentaron altas concentraciones en zonas someras y cercanas a la costa, ante el aporte de los ríos, alcanzando

alrededor de 10,0 μM . Durante junio sus niveles se homogenizan en toda la sección, disminuyendo en algunas zonas cerca a la superficie. En el segundo semestre se observó su recuperación, principalmente en agosto y noviembre, en este último mes los aportes provenientes del fondo, por intensificación del afloramiento costero, fueron consumidos por el fitoplancton en la capa fótica (Fig. 17).

Al oeste de las islas Lobos de Afuera las concentraciones superficiales en abril y mayo fueron $<2,0 \mu\text{M}$ (Fig. 18), ante el avance de aguas cálidas. Las aguas de afloramiento costero que interaccionaron con las ASS, superaron 2,20 μM en septiembre, en noviembre a 50 m de profundidad y hasta las 10 mn se registraron concentraciones subsuperficiales superiores a 3 μM (Fig. 19).

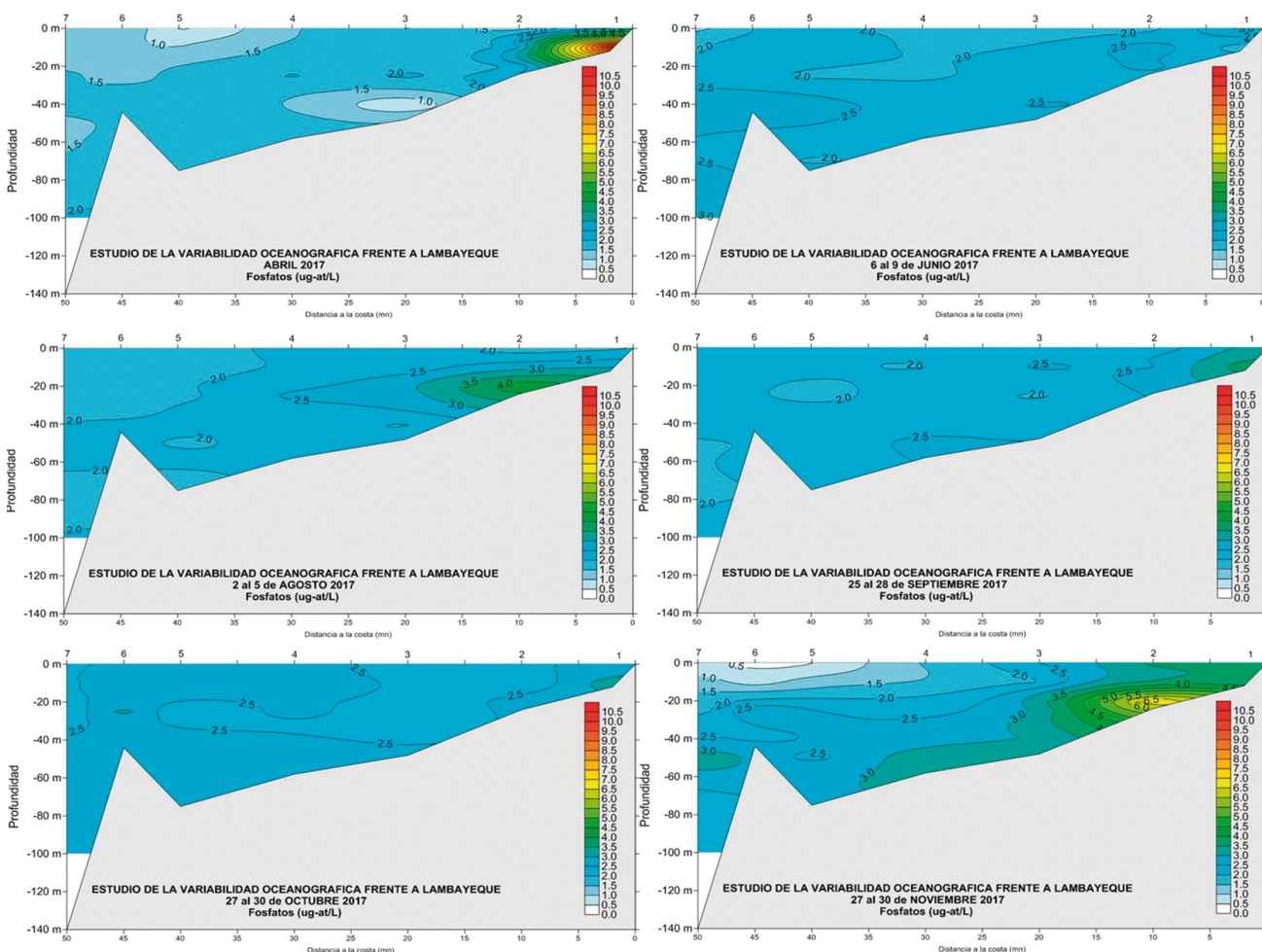


Figura 17.- Distribución de concentración de fosfatos (μM) en la sección, Perfil oceanográfico San José – Is. Lobos de Afuera en las diferentes prospecciones, 2017

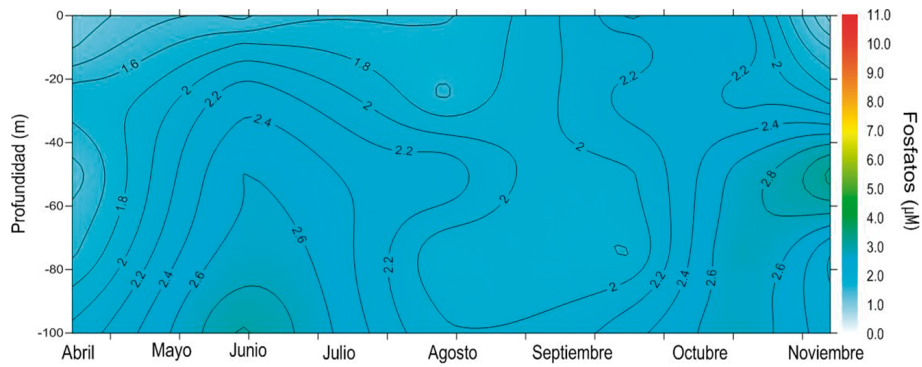


Figura 18.- Distribución de fosfatos (μM) hasta 100 m de profundidad, estación 7 (50 mn de la costa). Perfil oceanográfico San José – Is. Lobos de Afuera. 2017

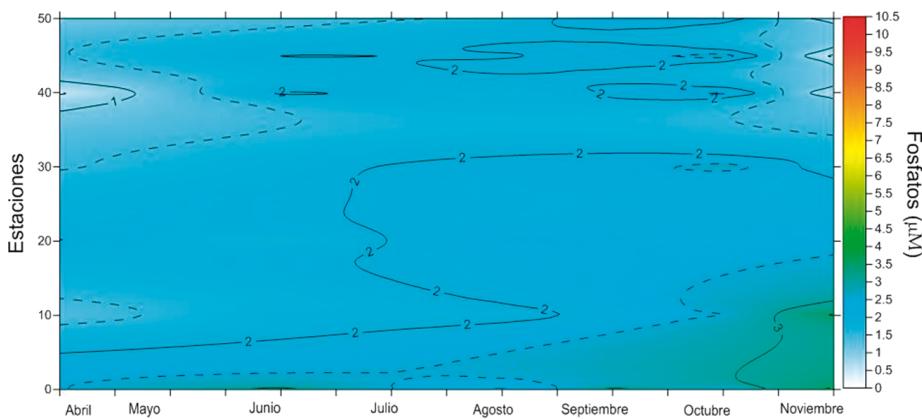


Figura 19.- Distribución superficial de los fosfatos (μM), a lo largo del tiempo. Perfil oceanográfico San José – isla Lobos de Afuera. 2017

Tabla 7.- Concentración de silicatos (μM) en superficie del mar por estación, registrado durante los perfiles oceanográficos, 2017

| Mes | Est 1 | Est 2 | Est 3 | Est 4 | Est 5 | Est 6 | Est 7 | Promedio |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| Abril | 18,40 | 12,03 | 3,92 | 3,59 | 3,58 | 4,92 | 6,13 | 7,51 |
| Junio | 26,52 | 14,65 | 2,76 | 6,33 | 6,09 | 4,65 | 32,70 | 13,38 |
| Agosto | 27,21 | 12,64 | 15,36 | 18,09 | 15,39 | 17,18 | 15,11 | 17,28 |
| Septiembre | 22,94 | 18,48 | 17,51 | 16,16 | 14,53 | 14,81 | 4,88 | 15,62 |
| Octubre | 28,05 | 22,50 | 18,37 | 20,96 | 19,33 | 19,34 | 14,07 | 20,37 |
| Noviembre | 26,59 | 24,84 | 21,44 | 0,95 | 1,34 | 1,18 | 3,56 | 11,42 |

Silicatos.- En superficie alcanzaron concentraciones promedio entre 7,51 y 20,37 μM en abril y octubre (Tabla 7). Observándose variabilidad en su disponibilidad, alcanzándose mayores concentraciones en octubre cuando el afloramiento costero, aportó silicatos a la columna de agua pero condiciones ambientales adversas para el desarrollo del fitoplancton impidió su rápido consumo cerca de la costa, en noviembre la mayor proliferación de diatomeas fuera de las 20 mn de la costa produjo una importante caída en la concentración de este nutriente.

La concentración de silicatos reflejó el avance de aguas cálidas oceánicas hacia la costa

durante abril, por bajas concentraciones observadas en la capa de 20 m, pero se registró mayor concentración por debajo de esa profundidad cerca de la costa. En noviembre los niveles fueron bajos en superficie fuera de las 20 mn de la costa, pero a 40 m se detectaron concentraciones superiores a 20 μM situación que se intensificó muy cerca de la costa. Entre agosto y septiembre se pudo observar que alcanzó altas concentraciones homogéneas de alrededor de 16 μM , con evidente interacción de aguas más pobres en nutrientes fuera de las 40 mn de la costa. En octubre la baja demanda por parte del fitoplancton provocó concentraciones mayores a 18 μM (Fig. 20).

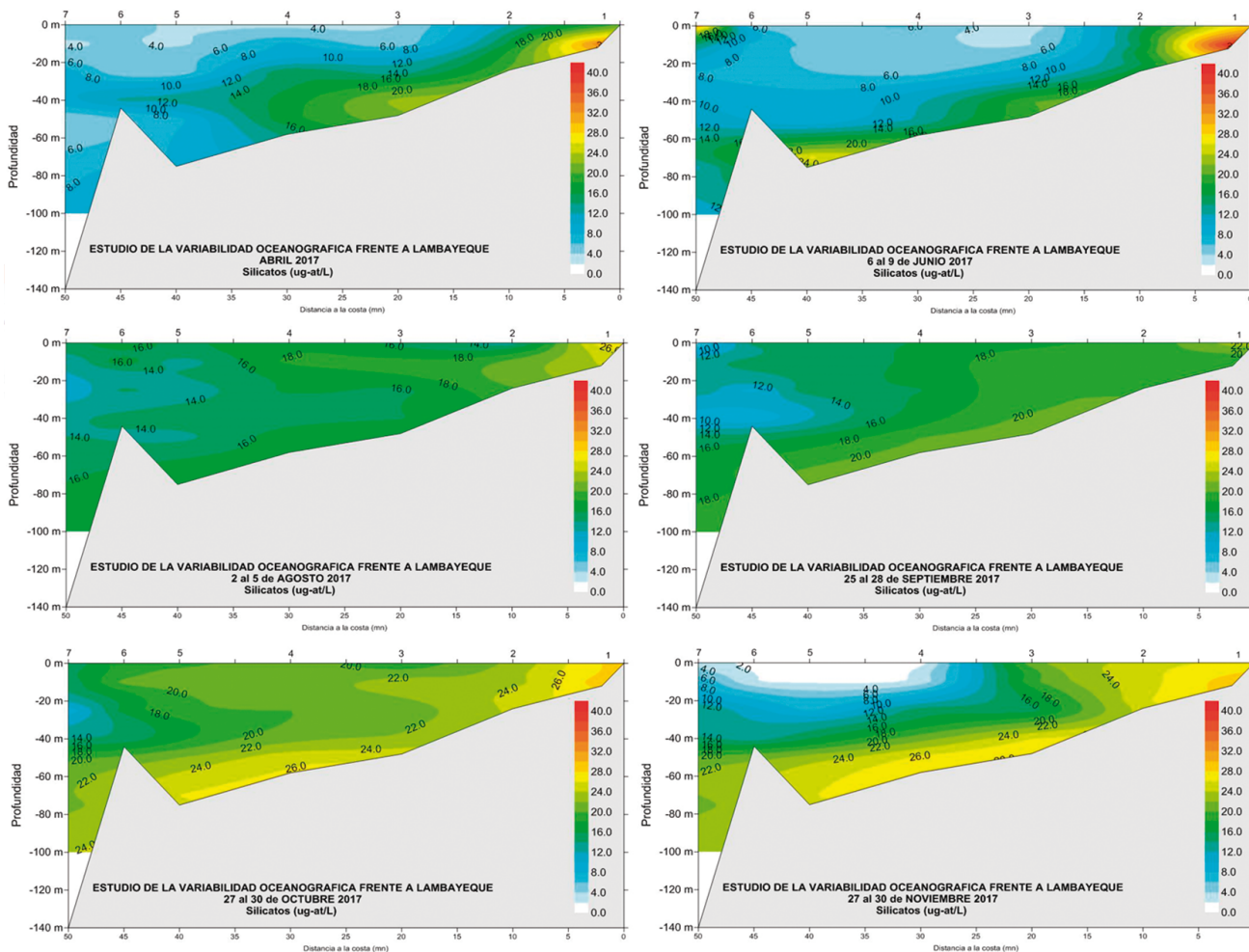


Figura 20.- Distribución de concentración de silicatos (μM) en la sección, Perfil oceanográfico San José – Is. Lobos de Afuera en las diferentes prospecciones, 2017

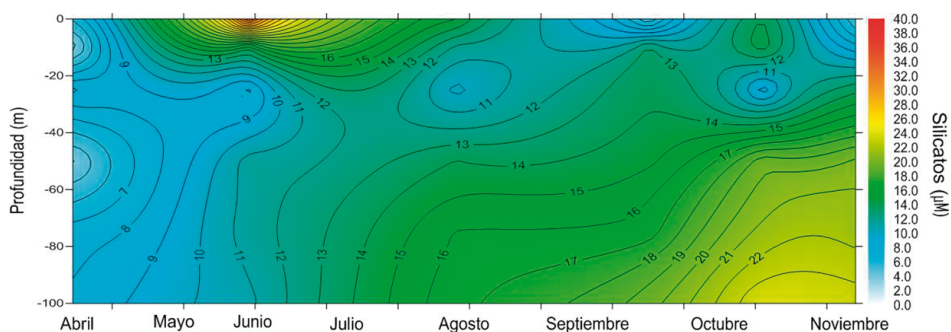


Figura 21.- Distribución de silicatos (μM) a lo largo del tiempo en la estación 7 (50 mn de la costa), Perfil oceanográfico San José – Is. Lobos de Afuera. 2017

El análisis de la concentración espacio – temporal de silicatos a distintas profundidades a 50 mn de la costa y al oeste de la islas Lobos de Afuera, demostró que en abril las concentraciones $<5 \mu\text{M}$ y en noviembre $<7 \mu\text{M}$ se encontraron entre 10 y 50 m de profundidad (Fig. 21), situación relacionada a la presencia de masas de agua pobres en nutrientes en abril y al alto consumo por parte del fitoplancton en noviembre. En abril las ASS

pobres en nutrientes deprimieron las isolíneas de concentración, es así que la isolínea de $8 \mu\text{M}$ se encontró alrededor de 50 m de profundidad, en junio las concentraciones de $10 \mu\text{M}$ estuvieron sobre 100 m de profundidad, la concentración de silicatos comienza a incrementarse durante el segundo semestre hasta hacerse máxima entre septiembre y noviembre bajo los 20 m de profundidad.

Mayores concentraciones se observaron en octubre y noviembre cuando comienza a extenderse desde la costa altas concentraciones de silicatos que llegaron a superar los 28 μM a 2 mn de la costa, relacionados a zonas de afloramiento (Fig. 22).

A nivel del fondo los silicatos se registraron en zonas cercanas a la costa con valores superiores a 35 μM restringidos en una franja cerca de la costa relacionada a las lluvias de los primeros meses del año. A partir de agosto valores superiores a 20 μM se detectaron desde la costa hacia mar afuera sobre amplias zonas hasta hacerse máximos en noviembre. las mayores concentraciones se encontraron en condiciones hipóxicas sobre sedimentos

del tipo fango-limoso hasta 50 mn de la costa (Fig. 23).

Nitratos.- Alcanzaron concentraciones superficiales promedio entre 5,01 y 21,19 μM en noviembre y septiembre, respectivamente. En noviembre se encontró a 40 mn de la costa la concentración más baja con 0,24 μM , relacionada con altas concentraciones de oxígeno disuelto superficial, bajas concentraciones de otros nutrientes, alta concentración de fitoplancton y predominio de las ACF; las mayores concentraciones superiores a 22,0 μM fueron encontradas en septiembre, a 30 mn de la costa (Tabla 8), relacionadas con presencia de aguas recientemente afloradas, concentraciones bajas de oxígeno disuelto en superficie.

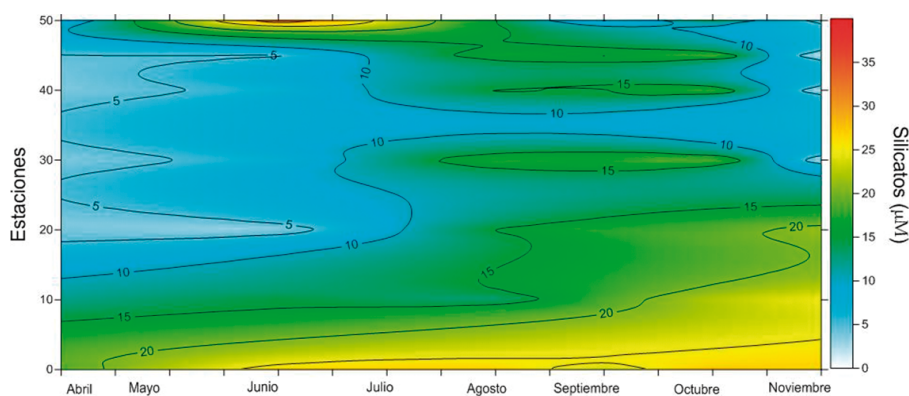


Figura 22.- Distribución superficial de concentración de silicatos (μM), a lo largo del tiempo. Perfil oceanográfico San José – Is. Lobos de Afuera. 2017

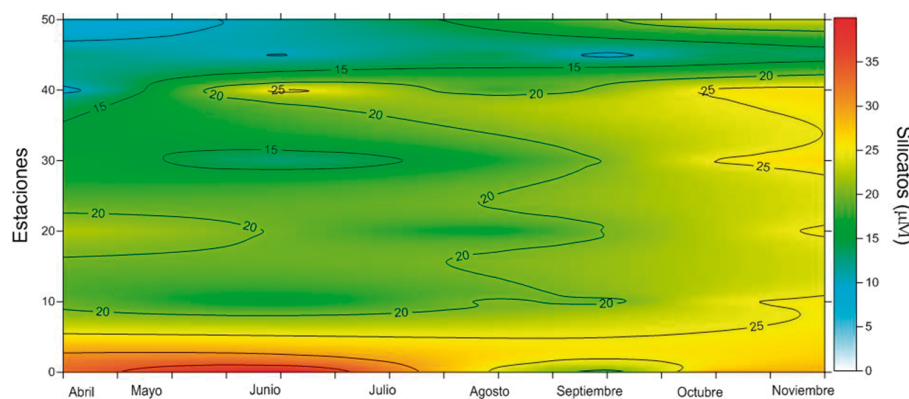


Figura 23.- Distribución de la concentración de silicatos cerca del fondo (μM), a lo largo del tiempo. Perfil oceanográfico San José – Is. Lobos de Afuera. 2017

Tabla 8.- Concentración de nitratos (μM) en la superficie del mar por estación, registrado durante los perfiles oceanográficos en el 2017

| Mes | Est 1 | Est 2 | Est 3 | Est 4 | Est 5 | Est 6 | Est 7 | Promedio |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| Abril | 13,88 | 15,03 | 9,72 | 1,66 | 7,20 | 8,23 | 9,48 | 9,31 |
| Junio | 17,98 | 18,54 | 13,35 | 13,03 | 13,76 | 12,04 | 7,47 | 13,74 |
| Agosto | 17,39 | 14,45 | 16,43 | 17,16 | 14,27 | 17,58 | 17,59 | 16,41 |
| Septiembre | 20,30 | 21,95 | 21,30 | 22,41 | 19,92 | 20,97 | 21,48 | 21,19 |
| Octubre | 18,59 | 18,91 | 15,10 | 19,49 | 18,02 | 17,94 | 16,05 | 17,73 |
| Noviembre | 9,07 | 9,50 | 11,16 | 2,08 | 0,24 | 1,53 | 1,52 | 5,01 |

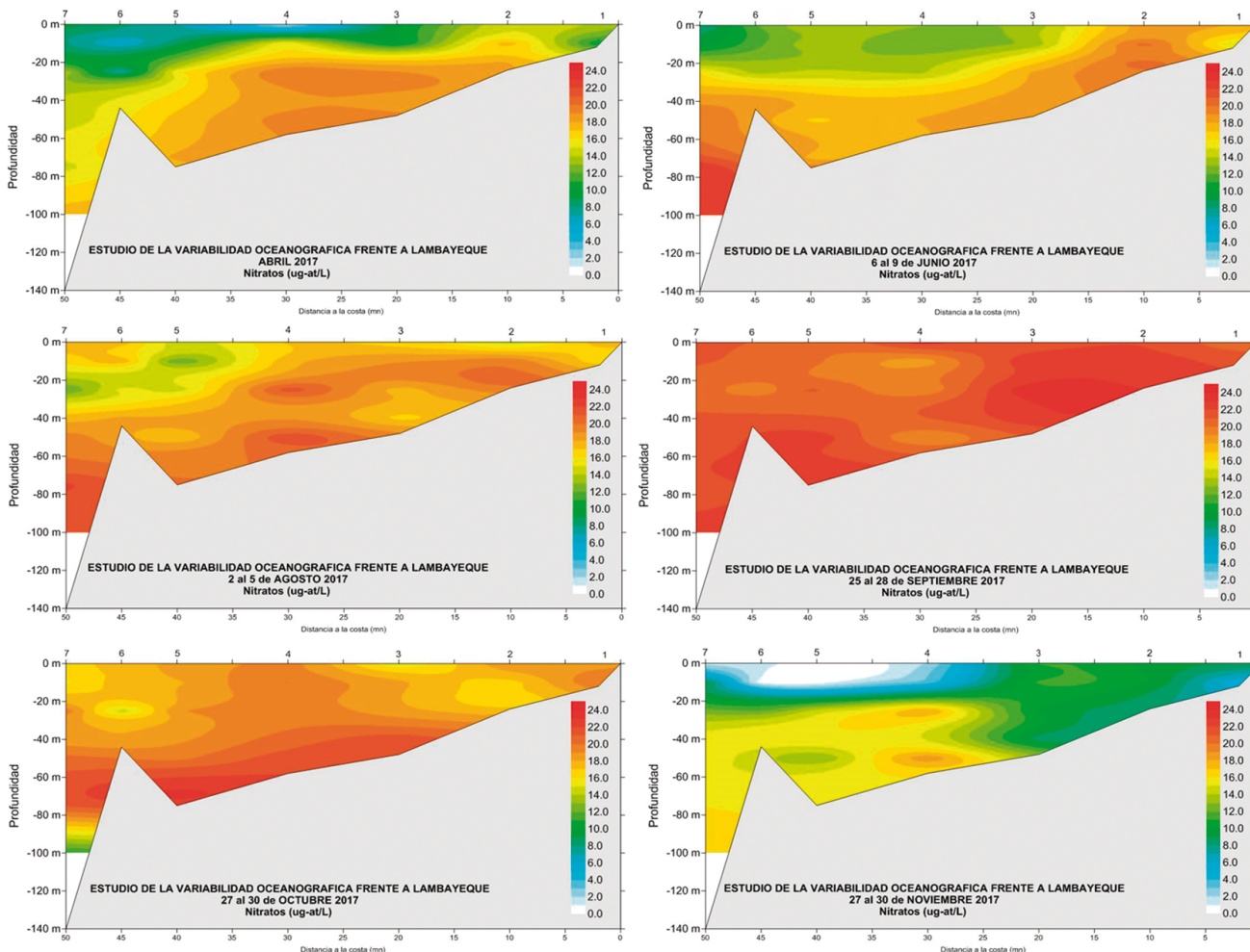


Figura 24.- Distribución de la concentración de nitratos (μM) en la sección, Perfil oceanográfico San José – Is. Lobos de Afuera en las diferentes prospecciones realizadas. 2017

La concentración de nitratos evidenció el avance de aguas cálidas superficiales hacia la costa en abril llevando a la costa aguas con bajas concentraciones de nutrientes junio, en forma más evidente en la capa superficial de 20 m, por debajo de la cual se encontraron concentraciones que superaron $15 \mu\text{M}$, en noviembre los niveles de nitratos cerca del fondo se vieron muy disminuidos, alcanzando valores cercanos a $5 \mu\text{M}$, las condiciones hipóxicas que predominaron cerca del fondo durante esos meses contribuyeron a la eliminación de los nitratos en el agua al reducirlos a nitritos, así mismo se apreció la disminución en la disponibilidad de este nutriente en superficie, relacionada al incremento de concentraciones de oxígeno disuelto (Fig. 24).

Al oeste de la isla Lobos de Afuera, a 50 mn de la costa y por debajo de 40 m de profundidad, la concentración de los nitratos mostró alta disponibilidad subsuperficial desde junio; los

procesos de afloramiento llevaron a la superficie altas concentraciones de este nutriente desde agosto, alcanzando mayores concentraciones entre septiembre y octubre cuando alcanzó niveles de concentración $>21 \mu\text{M}$ (Fig. 25).

Los nitratos presentaron altas concentraciones superficiales entre septiembre y octubre coincidentemente con valores relativamente bajos de oxígeno superficial, con predominio de masas de ACF (Fig. 26).

Cerca del fondo los nitratos presentaron mayores concentraciones que se alcanzaron en septiembre dentro de la franja de 40 mn de la costa. Las menores concentraciones se observaron en noviembre desde la costa hasta las 20 mn, relacionado a fondos hipóxicos. En forma general se puede decir que la relativa alta concentración encontrada fuera de las 45 mn de la costa, estuvo relacionado a fondos oxigenados (Fig. 27).

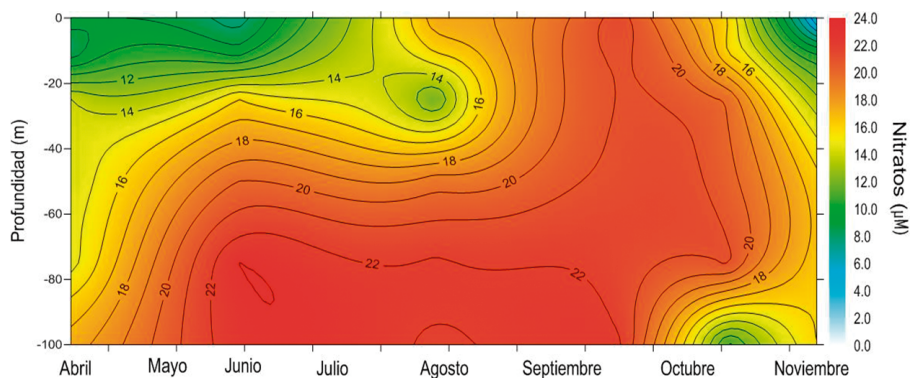


Figura 25.- Distribución de nitratos (μM) a lo largo del tiempo en la estación 7 (50 mn de la costa), Perfil oceanográfico San José – Is. Lobos de Afuera. 2017

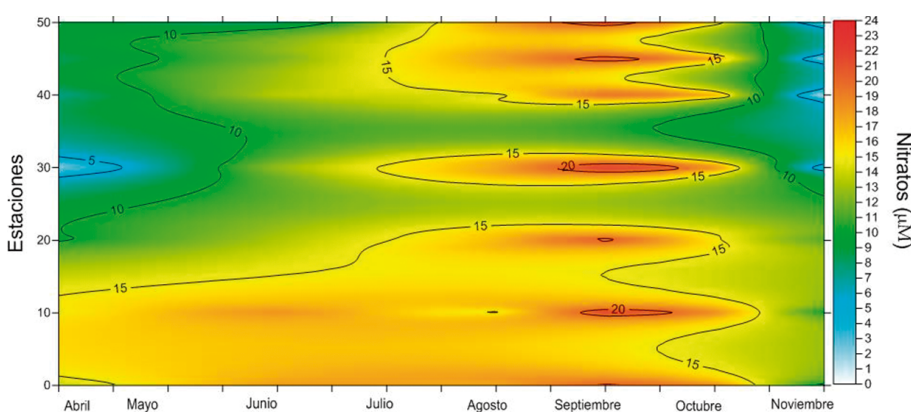


Figura 26.- Distribución superficial de nitratos (μM), a lo largo del tiempo. Perfil oceanográfico San José – Is. Lobos de Afuera. 2017

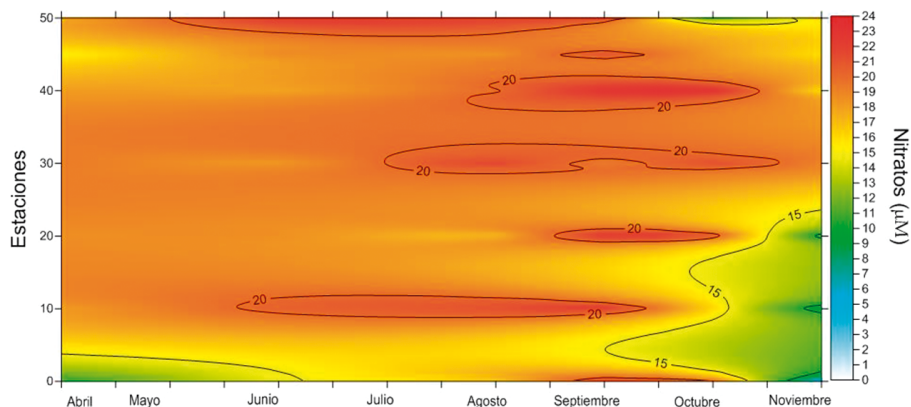


Figura 27.- Distribución espacio temporal cerca del fondo de concentración de nitratos (μM), a lo largo del tiempo. Perfil oceanográfico San José – Is. Lobos de Afuera. 2017

Tabla 9.- Concentración de nitritos (μM) en la superficie del mar por estación, registrado durante los perfiles oceanográficos. 2017

| Mes | Est 1 | Est 2 | Est 3 | Est 4 | Est 5 | Est 6 | Est 7 | Promedio |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| Abril | 2,01 | 0,90 | 0,79 | 0,91 | 0,98 | 0,73 | 0,59 | 0,99 |
| Junio | 1,55 | 0,70 | 0,88 | 0,86 | 1,25 | 1,22 | 0,68 | 1,02 |
| Agosto | 1,86 | 0,23 | 0,80 | 0,85 | 0,59 | 0,67 | 0,69 | 0,81 |
| Septiembre | 0,86 | 0,42 | 0,89 | 0,43 | 0,43 | 0,58 | 0,39 | 0,57 |
| Octubre | 2,20 | 0,90 | 0,89 | 0,77 | 0,82 | 0,90 | 0,73 | 1,03 |
| Noviembre | 4,77 | 5,87 | 3,68 | 0,21 | 0,15 | 0,12 | 0,62 | 2,20 |

Nitritos.- La concentración superficial promedio varió entre 0,57 y 2,20 μM en septiembre y noviembre, respectivamente. En noviembre, a 45 mn de la costa, se reportó la concentración más baja con 0,12 μM , relacionado con aguas de valores altos de oxígeno disuelto; al mismo tiempo dentro de las 10 mn de la costa se detectó la concentración de 5,87 μM relacionado con aguas superficiales con bajas concentraciones de oxígeno y con olor sulfuroso cerca del fondo (Tabla 9, Fig. 28).

El análisis de la evolución de los nitritos en una sección de 100 m de profundidad a 50 mn de la costa, mostró que las concentraciones fueron inferiores a las encontradas cerca de la costa, predominando concentraciones de 0,1 a 0,5 μM durante la mayor parte del año, a excepción de junio cuando a 20 m de profundidad se observó concentraciones de hasta 1,1 μM formando un núcleo (Fig. 29).

En el 2017 la concentración superficial de nitritos, entre otros, fue coincidente con la predominancia de las ASS+AES que llevaron al fondo aguas más oxigenadas, a diferencia del segundo semestre cuando esas concentraciones se vieron fuertemente incrementados cerca de la costa, coincidiendo con aguas subsuperficiales hipóxicas, con el predominio de las ACF y con procesos de afloramiento activos (Fig. 30).

Afloramiento costero

Las prospecciones se desarrollaron entre abril y noviembre, en seis oportunidades (entre octubre y noviembre) se observó el afloramiento costero con mayor intensidad, al registrarse en forma abundante y extendida, en zonas alejadas de la costa, diatomeas indicadoras de sucesiones primarias o de afloramiento como *Chaetoceros lorenzianus*, *C. didymus*, y *C. teres*. Las aguas costeras frías se encontraron muy restringidas en

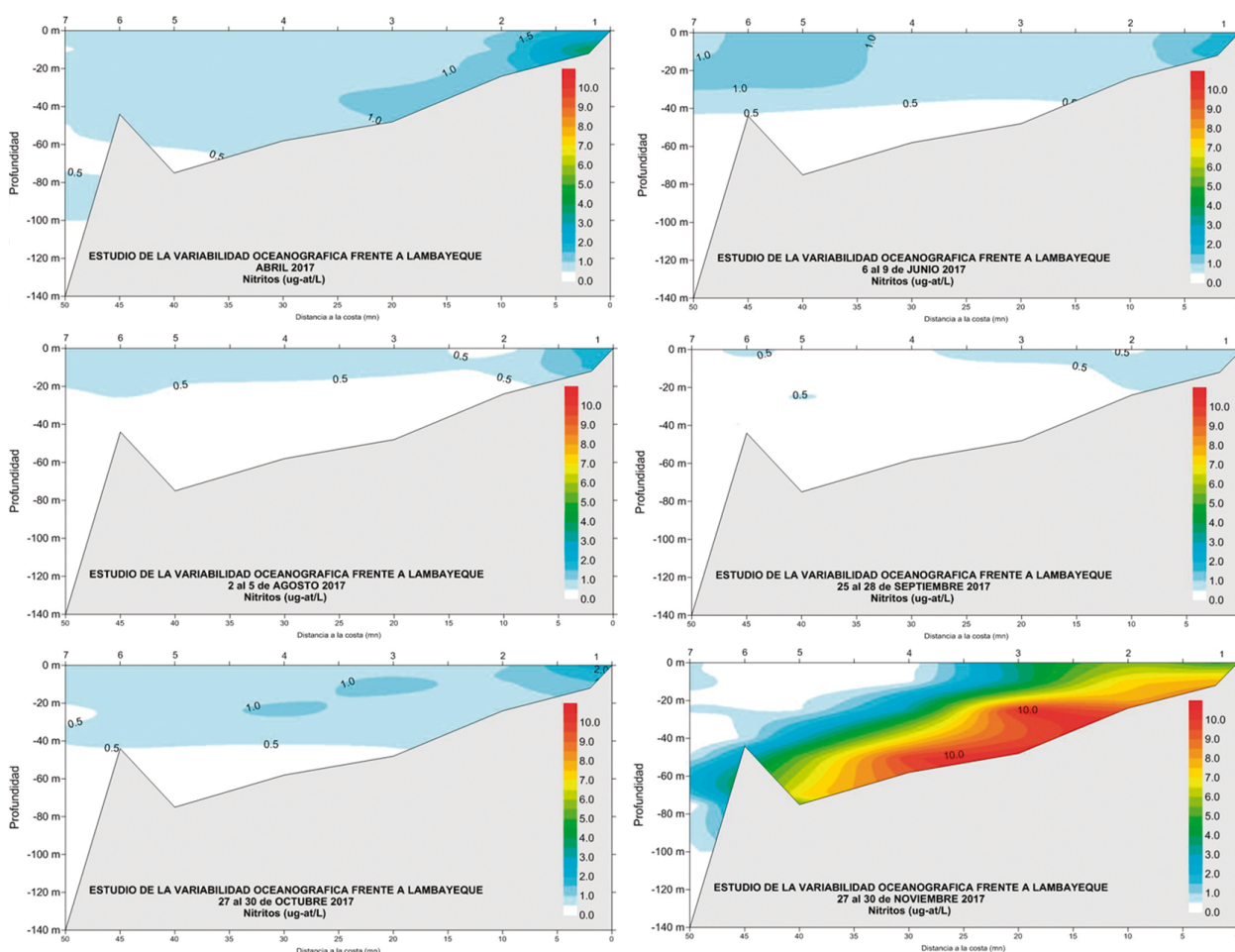


Figura 28.- Distribución de la concentración de nitritos (μM) en la sección. Perfil oceanográfico San José – Is. Lobos de Afuera en las diferentes prospecciones. 2017

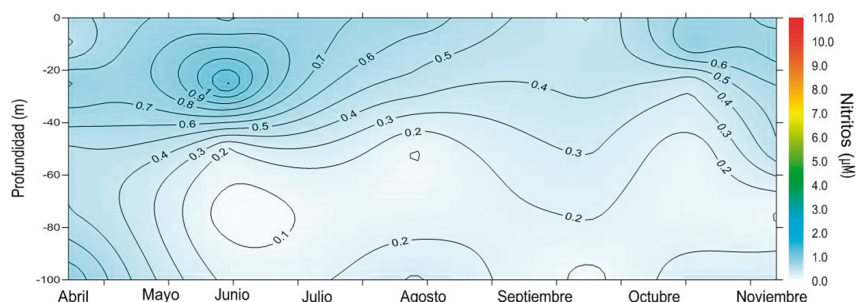


Figura 29.- Distribución de los nitritos (μM) a lo largo del tiempo en la estación 7 (50 mn de la costa). Perfil oceanográfico San José – Is. Lobos de Afuera. 2017

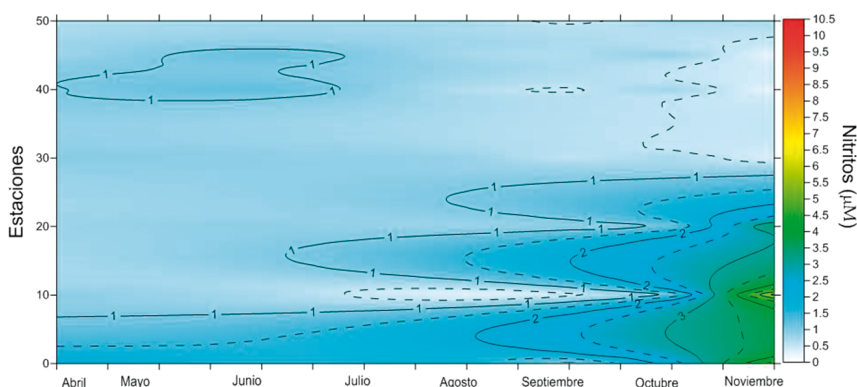


Figura 30.- Distribución en el agua superficial de los nitritos (μM), a lo largo del tiempo. Perfil oceanográfico San José – Is. Lobos de Afuera. 2017

la primera mitad del año, siendo en la segunda mitad del mismo cuando comenzó a intensificarse y alcanzando máxima expansión en octubre y noviembre; durante la primera mitad del año las ACF interaccionaron activamente con las ASS y las AES en forma variable, como lo indicó la presencia de *Centropages furcatus*, especie zooplanctonica relacionada a esta última masa de agua.

PLANCTON

Fitoplancton

Se revisaron 42 muestras de plancton superficial generando volúmenes que fluctuaron entre 0,030 a 4,16 mL.m⁻³, los valores más bajos se registraron en las estaciones 4 (20 mn de la costa) y 7 (50 mn de la costa) en agosto y abril, respectivamente. El mayor volumen se encontró en noviembre en la estación 3 ubicada a 20 mn de la costa originada por abundancia de diatomeas pequeñas, propias de afloramiento costero.

El fitoplancton predominó sobre el zooplancton en 24 oportunidades representando el 59,5%.

En noviembre, en toda el área de muestreo, predominó el fitoplancton, en octubre predominó en 6 estaciones y en abril en 5 estaciones, en el resto de los meses el zooplancton fue el grupo predominante en casi toda el área de estudio, siendo especies de copépodos, foraminífera y eufáusida las más abundantes.

La mayoría de volúmenes con predominancia fitoplanctónica y superiores a 1,0 mL.m⁻³ (considerado como valor indicador de zonas productivas) se registraron entre las estaciones 1 y 4 (franja comprendida entre 2 y 30 mn de la costa) entre octubre y noviembre.

Composición, frecuencia y riqueza de especies

Se registraron 105 especies componentes del fitoplancton, distribuidas en 63 especies de diatomeas, 40 dinoflagelados y 2 silicoflagelados, las diatomeas (60%) superaron en número a dinoflagelados y silicoflagelados. La mayor cantidad de diatomeas (27) se encontró en la estación 4 en abril y la mayor cantidad de dinoflagelados (17) en la estación 7 en junio (Fig. 31).

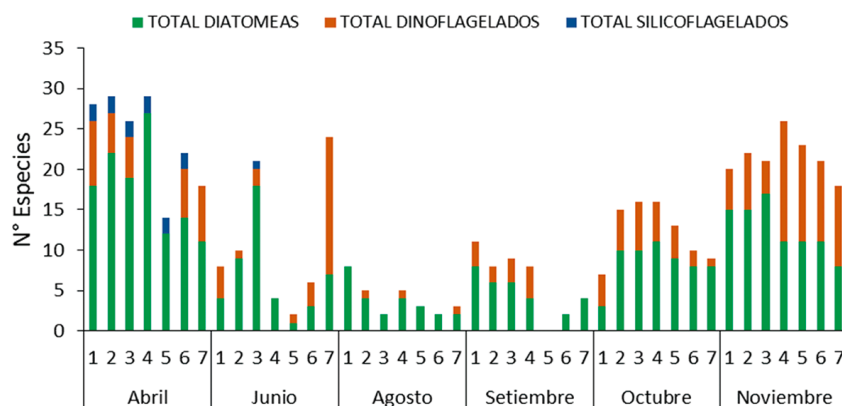


Figura 31.- Distribución de número de especie por grupo taxonómico en el Perfil Oceanográfico San José - Is. Lobos de Afuera. 2017

Con respecto a las especies frecuentes (28 a 19 registros) destacaron las diatomeas *Chaetoceros lorenzianus*, *Coscinodiscus perforatus*, el dinoflagelado *Protoperidinium depressum* y la diatomea *Pseudo-nitzschia* spp. (Grupo *seriata*); las especies con un sólo registro fueron, las diatomeas *Asteromphalus* sp. *Bacteriastrum delicatulum*, *Lioloma delicatulum* y los dinoflagelados *Scrippsiella trochoidea*, *Pronoctiluca pelagica*, *Ornithocercus steinii*, entre otros

Las especies que alcanzaron categorías de abundantes fueron las del género *Chaetoceros* como *C. socialis*, *C. lorenzianus*, *C. didymus*, *C. teres*, también las diatomeas neríticas como *Thalassiosira subtilis* y *Coscinodiscus perforatus*, esta última especie se presentó muy abundante en las zonas costeras (hasta las 20 mn de la costa).

Indicadores biológicos, especies termófilas, especies potencialmente nocivas

Se presentaron abundantes diatomeas propias de sucesiones primarias o de afloramiento como *Chaetoceros lorenzianus*, *C. didymus*, y *C. teres* que indicaron intenso afloramiento costero, como lo ocurrido en abril cuando la abundancia de estas especies se limitaron en la franja comprendida entre 10 y 30 mn de la costa y en los últimos 2 meses la abundancia de esas pequeñas diatomeas señalaron la expansión del afloramiento sobre toda el área en estudio.

Dentro de los dinoflagelados se presentaron aquellos que tienen distribución cosmopolita como *Protoperidinium conicum*, *P. depressum*, *P. minutum*, *Ceratium buceros*, *C. dens*, *C. tripos*, *C. buceros*, *C furca* entre otros.

El dinoflagelado *Protoperidinium obtusum*, indicador fitoplanctónico de Aguas Costeras Frías (ACF) se presentó en setiembre, octubre y noviembre (Tabla 10).

Se presentaron 14 especies termófilas, representadas por 4 diatomeas: *Chaetoceros coarctatus*, *Eucampia cornuta*, *Planktoniella sol*, *Proboscia alata* var. *alata* y 10 dinoflagelados: como *Amphisolenia bidentata*, *Ceratium contortum*, *C. gibberum* v. *dispar* *C. lúnula*, *C. masiliense*, *Goniodoma polyedricum*, *Ornithocercus quadratus*, *O. steinii*, *Pyrocystis lunula* y *Dinophysis cuneus*. Estas especies se registraron en abril y junio, con mayor ocurrencia a 45 mn de la costa en junio, no se volvieron a observar a partir de agosto.

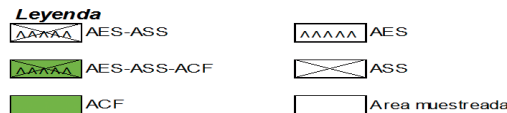
Se registraron especies catalogadas como potencialmente tóxicas como los dinoflagelados *Dinophysis caudata* y *D. tripos*, además de las diatomeas *Pseudo-nitzschia* spp. (Grupo *seriata* y *delicatissima*) estando relacionadas con meses de intenso afloramiento costero (abril, octubre y noviembre).

Estacionalidad biológica

En general la aparición progresiva del indicador fitoplanctónico de las ACF, el dinoflagelado *Protoperidinium obtusum*, (OCHOA y GÓMEZ, 1997), confirma la presencia, extensión y fortalecimiento de ACF en los últimos meses de muestreo, además la presencia de especies termófilas en abril y junio señalan remanentes de ASS y AES en el área de estudio, haciéndose más notable en junio en la estación ubicada a 50 mn de la costa, donde se registró la mayor cantidad de especies ligadas a Aguas cálidas en general.

Tabla 10.- Presencia de Indicadores biológicos. Perfil Oceanográfico San José-Is. Lobos de Afuera, durante prospecciones. 2017

| ESTACION | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|------------------------|---|----|----|----|----|----|----|
| Distancia a costa (mn) | 2 | 10 | 20 | 30 | 40 | 45 | 50 |
| 2017 Abril | | | | | | | |
| 2017 junio | | | | | | | |
| 2017 Agosto | | | | | | | |
| 2017 Setiembre | | | | | | | |
| 2017 Octubre | | | | | | | |
| 2017 Noviembre | | | | | | | |



La presencia de organismos de sucesiones primarias planctónicas en abril, octubre y noviembre señalan afloramiento en la zona costera de la región.

Zooplankton

Los volúmenes promedio de zooplankton durante el 2017 fluctuaron entre 3,32 mL.100 m⁻³ (octubre) y 23,30 mL.100 m⁻³ (septiembre) (Fig. 32). Durante septiembre los volúmenes en su mayoría fueron menores a 10 mL.100 m⁻³ a excepción de lo registrado a 40 mn, donde se llegó a determinar un volumen máximo de 138,4 mL.100 m⁻³. La distribución espacial de la biomasa zooplanktónica fue heterogénea, no se observó un patrón de abundancia con respecto de la distancia a la costa.

Comparando los valores de biomasa estimados durante el 2017, con lo registrado durante el

2015 y 2016, se evidencia disminución de los volúmenes promedio, en particular durante la primavera (Fig. 33), esto se debió al predominio del fitoplancton sobre la fauna planctónica en casi toda el área de estudio durante octubre y noviembre.

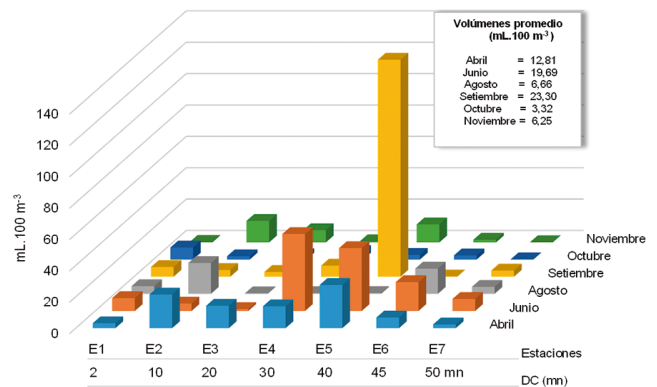


Figura 32.- Variación de los volúmenes de zooplankton superficial, 2017

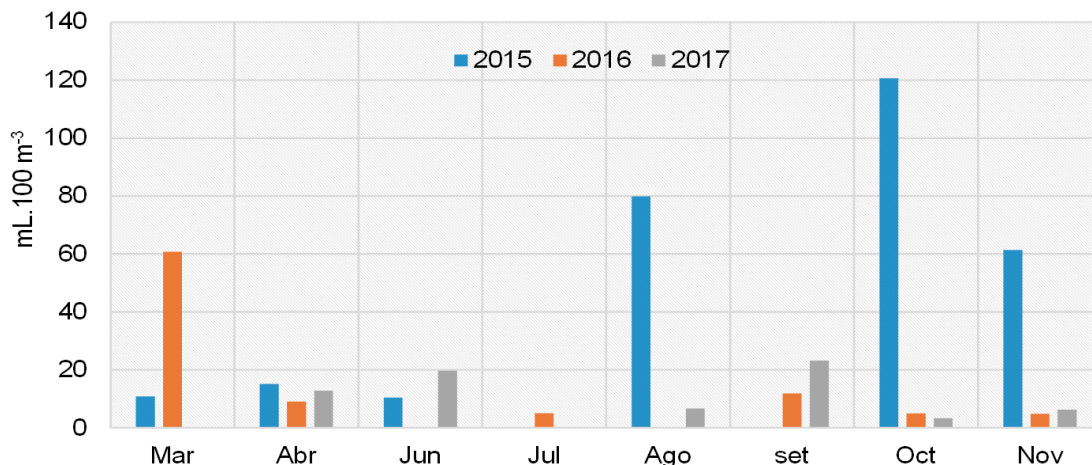


Figura 33.- Variación de los volúmenes de zooplankton durante el período 2015-2017

Tabla 11.- Grupos taxonómicos de la comunidad zooplanctónica observados durante el 2017

| Taxón | Abril | Junio | Agosto | Setiembre | Octubre | Noviembre |
|---------------|-------|-------|--------|-----------|---------|-----------|
| Copepoda | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Decapoda | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Cirripedia | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| Siphonophora | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Euphausiacea | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Chaetognatha | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| Amphipoda | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Bryozoa | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Polychaeta | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| Bivalvia | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Gasteropoda | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Pteropoda | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Hydromedusae | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Apendicularia | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| Ctenophora | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Thaliacea | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mysidacea | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Ostracoda | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| Foraminifera | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| Nro. grupos | 12 | 14 | 12 | 12 | 15 | 9 |

1= Presente, 0= Ausente

Composición específica

Durante el 2017 la fauna planctónica estuvo caracterizada por 19 grupos taxonómicos mayores; entre los cuales destacaron por su frecuencia: copépodos, decápodos, eufáusidos, sifonóforos, anfípodos, quetognatos, entre otros (Tabla 11). El grupo copépoda fue el más frecuente, abundante y diverso.

El análisis cualitativo de las muestras obtenidas determinó, durante abril y junio, la presencia de especies neríticas de aguas frías como *Acartia tonsa* y *Paracalanus parvus*; así como especies de distribución oceánica y/o asociadas a aguas cálidas: *Lucicutia flavicornis*, *Euchaeta rimana*, *Paraeucalanus attenuatus*, *Sagitta regularis*, *Corycaeus catus*, entre otras, las cuales fueron registradas en toda el área de estudio. Durante esos meses las especies más abundante fueron los copépodos *A. tonsa* y *P. parvus*.

Durante agosto, setiembre y octubre la distribución de especies asociadas a aguas cálidas fue menor, solo se observaron algunas especies fuera de las 10 mn. *A. tonsa* y *P. parvus* continuaron como las especies dominantes, además *Calanus chilensis* y *Euphausia mucronata* presentaron concentraciones importantes, principalmente fuera de las 20 mn.

A. tonsa y *P. parvus* son especies cosmopolitas, de carácter omnívoro, dominantes, euritérmicas y eurihalinas, razón por el cual no se ven afectadas con facilidad con el aumento o disminución de la temperatura y/o salinidad (ABANTO, 2001).

En noviembre la fauna planctónica estuvo constituida solo por especies de distribución nerítica de aguas frías, observándose también mayor concentración de huevos de *Engraulis ringens* "anchoveta" en toda el área de estudio.

En la mayoría de los casos, las concentraciones más altas del zooplancton estuvieron relacionados a la abundancia de *Calanus chilensis* y *Euphausia mucronata*, ambas especies relacionadas con zonas de afloramiento.

Indicadores biológicos

Las especies indicadoras de Aguas Costeras Frías (ACF), *Eucalanus inermis* y *Eaetideus bradyi* fueron observadas durante las prospecciones de setiembre, octubre y noviembre. En setiembre y octubre se registraron en casi toda el área de estudio, en tanto en noviembre *E. inermis* solo fue observada a 2 mn.

Así mismo, la presencia de masas de ASS se evidenciaron con el registro de las especies indicadoras: *Mecynocera clausi*, *Oncaea conifera* y *Acartia danae*, así como otras especies asociadas a estas masas de agua como *Euchaeta rimana*, *Lucicutia flavicornis*, *Paraeucalanus attenuatus*, entre otras. Estas estuvieron presentes a diferentes distancias de la costa durante casi todo el período de estudio, a excepción de noviembre. Durante abril y junio fueron registradas en toda el área de estudio (Fig. 34).

Centropages furcatus, especie indicadora de AES, fue observada en abril y junio fuera de las 2 mn. Así mismo, el molusco holoplanctónico *Limacina trochiformis*, especie relacionada con aguas de mezcla (ASS+AES), con anomalías térmicas de 1,5 y 1,7 °C, fue registrada durante junio a 45 mn.

Los indicadores de ACF durante el 2017 tuvieron una distribución restringida, se presentaron durante setiembre a noviembre. Cabe resaltar que la especie *Centropages brachiatus*, especie indicadora de ACF, cuya presencia es habitual en la zona marino costera de Lambayeque no fue registrada durante todo el período de estudio.

Ictioplancton

Principales componentes del ictioplancton fueron huevos y larvas de anchoveta, los cuales estuvieron presentes en todo el período de estudio; su distribución y abundancia fue distinta en cada prospección. Durante abril,

junio y agosto la distribución de huevos y larvas de esta especie estuvo restringida dentro de las 20 mn. En setiembre, octubre y noviembre se amplió la distribución hasta 50 mn, distribución que estuvo asociada a valores negativos de anomalías térmicas superficiales (-0,5 y -0,7 °C). En noviembre se observó mayor concentración de huevos en casi toda el área de estudio.

También fueron observados huevos de *Anchoa nasus* “anchoveta blanca” en abril, agosto, setiembre y noviembre dentro de las 10 mn. Huevos y larvas de mictófididos se registraron en abril y agosto. Larvas de *Vinciguerria lucetia* “pez luminoso” fueron observados en junio a 50 mn. La presencia de esta especie mesopelágica es importante debido a su afinidad tropical-subtropical.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Estacionalidad oceanográfica

La característica principal de la temperatura superficial del mar (TSM) registrada en la caleta San José es su constante fluctuación interanual de distinta magnitud (Fig. 35), que se presenta en forma irregular a través del tiempo.

Ciclos El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) provocan alteraciones de la temperatura superficial del mar, aunque fluctuaciones con la intensidad observada durante el evento El Niño 1997-98 no se han vuelto a repetir, sí se produjeron eventos importantes como los cálidos de los años 2002, 2006, 2008, 2009, 2012, 2015-2016 y este último evento 2017, que sin alcanzar la magnitud del evento de 1997-98, su intensidad y escasa duración provocó importantes alteraciones de las condiciones oceánicas que se reflejaron con la elevación de la temperatura superficial del mar y lluvias fuertes en la región.

En la figura 36 se observa que durante el 2016 finalizó El Niño 2015-16, y en las primeras semanas del 2017, después de algunas semanas de condiciones frías, presentó incrementos de la TSM así como disminución de la salinidad del mar en la estación costera de San José ante el aporte de agua dulce de los ríos, correspondiéndose con anomalías que superaron los +7 °C los días 18 y 19 de marzo, alcanzando en promedio 5,1 °C.

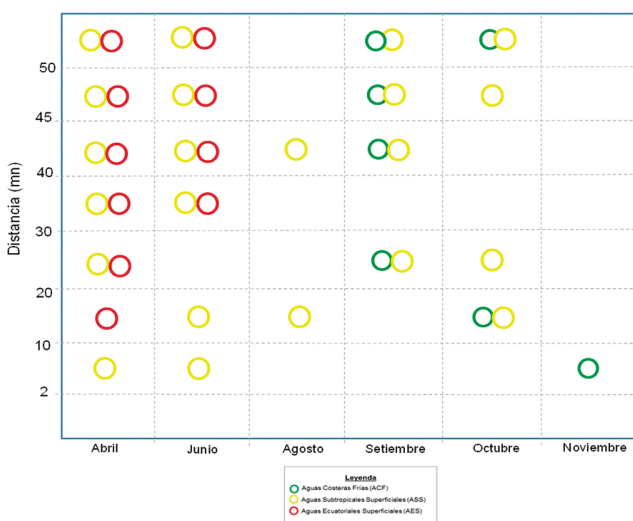


Figura 34.- Indicadores biológicos del zooplancton, abril – noviembre 2017

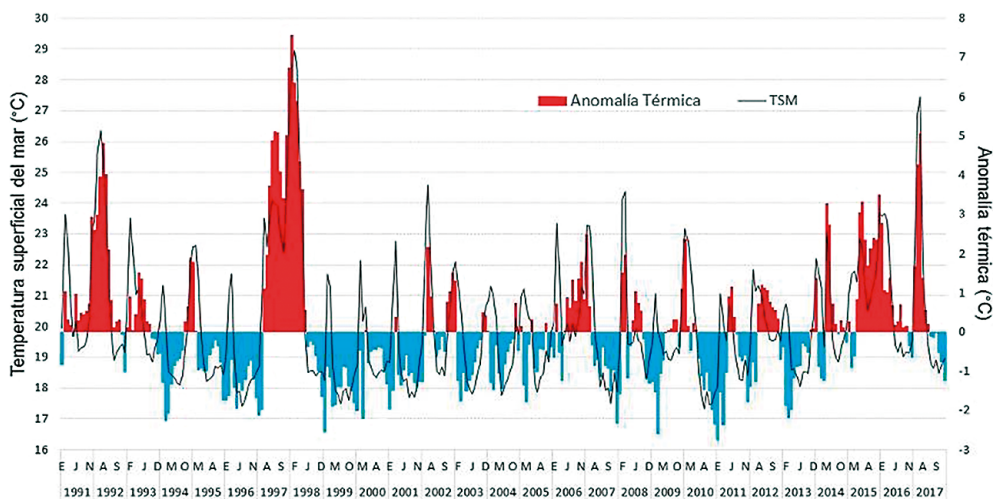


Figura 35.- Variación de la temperatura superficial (TSM) del agua de mar en playa San José, 1991 – 2017

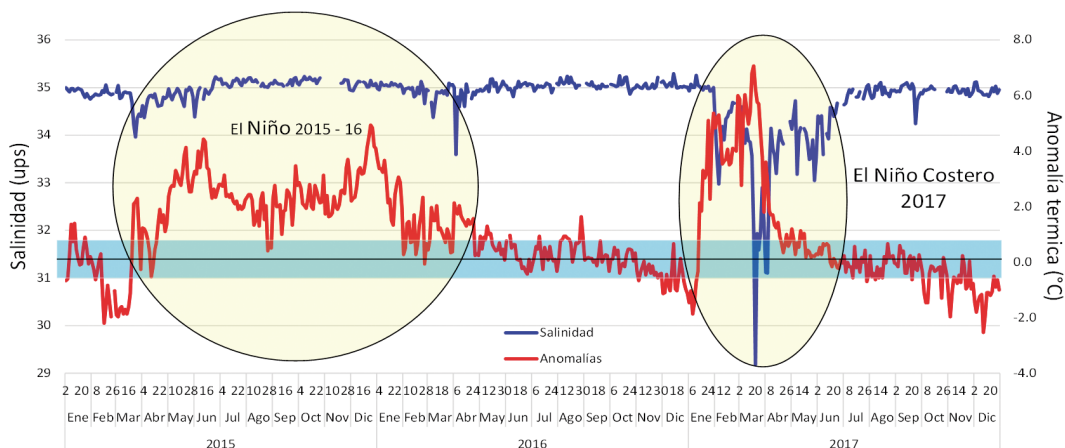


Figura 36.- Comparación entre El Niño 2015 – 16 y El Niño Costero 2017, serie de tiempo de la ATSM (°C) y la salinidad (ups) registrada en la playa de San José durante el periodo 2015 - 2017

Las dos primeras semanas de enero del 2017 los promedios diarios de la temperatura del mar comenzaron por debajo de sus valores esperados, a diferencia de lo ocurrido el año 2016 que comenzó con temperaturas altas propio de El Niño.

El Niño Costero del 2017 se manifestó con un rápido incremento de las temperaturas en la costa, alcanzando su clímax el 18 y 19 de marzo (29,5 °C) registrado en la estación costera fija de San José, lo que significó anomalías de +7,1 °C, luego se presentó una disminución paulatina y sostenida de las TSM hasta abril estimándose la conclusión del evento en mayo.

Durante el primer trimestre del 2017 las condiciones imperantes, lejos de la costa fueron

de El Niño, con acumulación de aguas cálidas (AES y ASS) observadas muy próximas a la costa, lo que se observó en la prospección de abril, con predominio de masas de aguas con temperaturas superficiales superiores a 22,5 °C.

Durante 2017, al igual que el año anterior, se observó que la extensión sur de la corriente de Cromwell, estuvo atípicamente fortalecida hasta agosto, observándose valores de oxígeno disuelto >2,0 mL/L a 100 de profundidad, pero a diferencia de lo observado el año 2015, valores >4 mL/L, solo alcanzaron los 20 m de profundidad y el tope de la ZMO comenzó su ascenso desde el primer trimestre del año hasta ubicarse sobre la plataforma continental alrededor de los 40 metros de profundidad a 50 mn de la costa en noviembre.

Los resultados obtenidos fueron concordantes con lo esperado en un intenso evento El Niño, al presentar a la ESCC con fuertes proyecciones en los meses de verano-otoño y persistente aunque con claro debilitamiento en el invierno, provocando depresión de la oxiclina, mientras que en la primavera desapareció de acuerdo a lo esperado, situación típica de condiciones neutras y posteriormente frías como las que se presentaron.

BAKUN & MENDELSSOHN (1989) afirmaron que la máxima intensidad del viento frente a la costa centro y norte del Perú ocurre en invierno, es por tanto lógico afirmar que la señal estacional de forzamiento de los vientos se integró con la señal ecuatorial dando lugar a un solo pico más prolongado de la intensidad de la contracorriente subsuperficial (otoño/invierno), conforme lo sugiere la información oceanográfica observada en años anteriores y como lo describe GUTIÉRREZ *et al.* (2005). Confirmándose de esta manera que para la costa norte, las condiciones subsuperficiales más oxigenadas (una oxiclina más profunda) corresponden a mayor intensidad de la contracorriente durante otoño/invierno, mientras que condiciones subsuperficiales más hipóxicas (una oxiclina más somera) corresponden a menor intensidad durante el verano en condiciones consideradas típicas o "normales", situación que se observó en esta oportunidad en la segunda mitad del 2017, pero no en el primer semestre.

En forma similar a lo observado el año 2016, durante el 2017 se presentaron áreas con baja concentración de oxígeno cerca del fondo, aunque de menor extensión. Situación que al parecer es característico de la zona y que ya fue reportado en informes anteriores, cuando se mencionó que entre los meses de marzo y octubre se presentan cerca del fondo, amplias zonas con valores <0,5 mL/L de oxígeno entre la costa y las islas Lobos de Afuera, sobre fondos blandos de naturaleza fango arenoso, situación que se vio intensificada el 2017 cuando en noviembre los valores mínimos se hicieron casi superficiales a 2 mn de la costa.

Menores concentraciones de fosfatos se vieron en abril cuando predominaron aguas oceánicas y ecuatoriales cerca de la costa, en junio cuando los procesos de afloramiento estaban debilitados.

Las mayores concentraciones en superficie se encontraron entre septiembre y noviembre muy cerca de la costa como consecuencia de su arrastre a la superficie por el afloramiento costero.

COLE (1983) indica que el ciclo biogeoquímico de los silicatos es relativamente sencillo, al compararlo con los de nitrógeno o fósforo; básicamente se conocen sólo dos fuentes primarias de silicio en los ambientes acuáticos: (1) el aporte de sílice y silicatos proveniente de los sedimentos y (2) el aporte alóctono (exógeno) de sílice y silicatos. El aporte de los sedimentos se deriva de la meteorización de depósitos minerales (feldespatos), de la liberación de sílice y silicatos de sedimentos anóxicos en cuerpos de agua eutróficos (material absorbido a arcillas) y finalmente, algunas especies de diatomeas liberan hasta un 15% de la sílice incorporada en sus frústulas. De esta manera se explica por qué las mayores concentraciones de silicatos en la sección se encontraron cerca de la costa, como ocurrió en noviembre, aparentemente relacionadas a los importantes aportes de sedimentos por parte de los ríos durante el periodo de lluvias de la primera mitad del año, además de los aportes subsuperficiales ante la intensificación del afloramiento costero, pero ese mismo mes y fuera de las 20 mn de la costa se hallaron disminuidos como consecuencia del consumo realizado por el fitoplancton en el área.

La cantidad de nitritos en el agua de mar debe ser pequeña en comparación con los nitratos y algo menor que el amoníaco. La concentración de nitrito puede ser un indicador de la inestabilidad del sistema. Es interesante destacar que durante la prospección de marzo del año 2015 se presentó un núcleo de altas concentraciones mayores a 3,0 μM entre los 15 y 40 m de profundidad, delimitada por las isotermas de 17 y 20 °C, y durante el 2016 un núcleo similar se encontró durante abril entre 20 y 40 m de profundidad limitada entre las isotermas de 19 y 20 °C. En el 2017 la concentración superficial de nitritos, fue coincidente con la predominancia de las ASS+AES que llevaron al fondo aguas más oxigenadas, a diferencia del segundo semestre cuando esas concentraciones se vieron fuertemente incrementados cerca de la costa, coincidiendo con aguas subsuperficiales hipóxicas, con el predominio de las ACF y con procesos de afloramiento activos

GRACO *et al.* (2007) afirma que: “aunque los eventos de surgencia o afloramientos ocurren durante todo el año frente a Perú, existe una alta variabilidad oceanográfica de origen local y/o remoto a diferentes escalas temporales (intraestacional, estacional, interanual y decadal). Esta variabilidad oceanográfica es determinante en las fluctuaciones del Frente Ecuatorial, en la Extensión Sur de la Corriente de Cromwell y en la intensidad y amplitud del afloramiento costero afectando, por tanto, la abundancia y distribución de los recursos biológicos”; ya ZUTA & GUILLÉN en 1970 afirmaban que en el área de Lambayeque, se suelen presentar los mayores índices de afloramiento entre el invierno y la primavera, pero estos procesos son persistentes a lo largo del año quedando determinada su estacionalidad en lo concerniente a su intensidad y extensión. Es así que el El Niño Costero que se presentó durante el primer semestre del 2017 estuvo precedido y acompañado, de alteraciones en el régimen de los vientos en la zona, los que provocaron importantes fluctuaciones en la intensidad del afloramiento costero local, situación condicionada por la actividad del Anticiclón del Pacífico sur (APS), el cual al fortalecerse en la segunda mitad del año generó el restablecimiento de condiciones neutras y posterior enfriamiento hasta fines de año.

Situación parecida a la observada durante el año 2014, cuando a partir de julio comenzó un progresivo proceso de normalización de las condiciones con el ascenso de la isoterma de 15 °C entre agosto y setiembre sobre los 70 m de profundidad, CASTRO *et al.* (2015); y muy diferente a lo observado en el año 2013 cuando la isoterma de 15 °C comenzó su ascenso desde mediados de junio alcanzando los 50 m de profundidad en el mes de setiembre, comenzando a profundizarse a partir de octubre sin llegar a desaparecer del área CASTRO *et al.* (2014).

El año 2016 se caracterizó por el declive y fin de un evento El Niño débil, que presentó condiciones oceanográficas cálidas durante la primera mitad del año, pero con déficit de lluvias, con fuerte proyección hacia el sur de las AES a fines del verano y el predominio de las ASS hasta julio.

Esta situación se revirtió progresivamente en la segunda mitad del año con el restablecimiento de condiciones neutras hasta fines del mismo año. El año 2017 comienza con los rezagos de condiciones frías en las primeras semanas de enero; los afloramientos costeros, producto de la persistencia de los vientos del S y SE en la zona, se vieron fuertemente afectados por el debilitamiento de los vientos como consecuencia de la inestabilidad del APS, provocando la casi desaparición de este proceso durante los primeros meses del año, pero con una clara recuperación en la primavera con un desfase en su estacionalidad.

La variabilidad oceanográfica frente a Lambayeque observada durante el 2017, propició que los recursos pesqueros demersales y costeros, se dispersaran y abandonaran sus caladeros y fueran menos accesibles a la pesca al igual que lo ocurrido el año 2016, permitiendo en cambio, el acercamiento y accesibilidad de recursos pelágicos y oceánicos hasta muy cerca de la costa, especialmente durante la fase activa de El Niño Costero 2017.

Plancton

El dinoflagelado *Protoperidinium obtusum* indicador fitoplanctónico de las ACF (OCHOA *et al.*, 1997) se presentó desde septiembre hasta fin del año, en concordancia con la evolución final de El Niño Costero, además la presencia de especies termófilas entre abril y junio señalaron que las ASS y AES se acercaron hacia la costa, situación confirmada por la presencia de *Centropages furcatus*, especie indicadora de Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES), que fue observada en abril y junio, fuera de las mn de la costa, la presencia de masas de Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) se evidenciaron con el registro de las especies indicadoras *Mecynocera clausi*, *Oncaea conifera* y *Acartia danae*, así como otras especies asociadas a estas masas de agua como *Euchaeta rimana*, *Lucicutia flavicornis*, *Paraeucalanus attenuatus*.

La presencia de organismos de sucesiones primarias fitoplanctónicas en octubre y noviembre señala la intensificación y persistencia del afloramiento en la zona costera durante el segundo semestre del año en la región.

REFERENCIAS

- ABANTO M. 2001. Composición, distribución y abundancia de copépodos planctónicos marinos en la Costa Norte – Centro (3°30'S – 14°00'S) frente al litoral peruano entre los años 1980 y 1989. Tesis para optar el título de Licenciado en Biología. UN Federico Villarreal. 72 pp.
- BAKUN A, MENDELSSOHN R. 1989. Alongshore wind stress, 1953-1984: correction, reconciliation and update through 1986. In: Pauly, D., P. Muck, J. Mendo & I. Tsukayama (eds.). The Peruvian upwelling ecosystem: dynamics and interactions. ICLARM Conference Proceedings. 18: 77-81.
- BALECH, E 1988. Los dinoflagelados del atlántico Sud-occidental. Public. Espec. Inst. Español de Oceanog. España. 310 pp.
- CARMELO R. 1996. Identifying Marine Diatoms y Dinoflagellates. Academic Press, Inc. 585 pp.
- CASTRO J, BANCES S, TORRES D. 2012. Condiciones Bio-oceanográficas en la Sección San José – Islas Lobos de Afuera, Lambayeque – Perú, durante el año 2012. Instituto del Mar del Perú. Informe interno. 32 pp.
- CASTRO J, BANCES S, TORRES D. 2014. Condiciones Bio-oceanográficas en la Sección San José – Isla Lobos de Afuera, Lambayeque – Perú, durante el año 2013. Instituto del Mar del Perú. Informe interno. 33 pp.
- CASTRO J, BANCES S, TORRES D. 2015. Condiciones Bio-oceanográficas en la Sección San José – Isla Lobos de Afuera, Lambayeque – Perú, durante el año 2014. Instituto del Mar del Perú. Informe interno. 45 pp.
- CASTRO J, BANCES S, TORRES D. 2016. Condiciones Bio-oceanográficas en la Sección San José – Isla Lobos de Afuera, Lambayeque - Perú, durante el año 2015. Instituto del Mar del Perú. Informe interno. 52 pp.
- CASTRO J, BANCES S, TORRES D, CÉSPEDES Y. 2017. Condiciones Bio-oceanográficas en la Sección San José – Isla Lobos de Afuera, Lambayeque – Perú, durante el año 2016. Instituto del Mar del Perú. Informe interno. 52 pp.
- CARRIT D E, CARPENTER J H. 1966. Comparison and evaluation of currently employed modifications of the Winkler method for determining dissolved oxygen in sea-water. J. Mar. Res. 24: 286–318.
- COLE G A. 1983. Manual de Limnología. 3ra. Edición -1988. Hemisferio Sur S.A. 405 pp.
- ENFIELD D B. 1989. El Niño, Past and Present. Rev. Geophys. 27(1): 159-187.
- GRACO M, LEDESMA J, FLORES G, GIRÓN M. 2007. Nutrientes, oxígeno y procesos biogeoquímicos en el sistema de la corriente de Humboldt frente a Perú. Revista peruana de biología. 14 (1): 117 - 128.
- GUTIÉRREZ D, ARONÉS K, CHANG F, QUIPUZCOA L, VILLANUEVA P. 2005. Impacto de la variación oceanográfica estacional e interanual sobre los ensamblajes de microfitoplancton, mesozooplancton, ictioplancton y macrozoobentos de dos áreas costeras del norte del Perú entre 1994 y 2002. Bol Inst Mar Perú. 22: 1 - 60.
- KRAMER D, KALIEN M, STEVENS E, THRAIKILL J, ZWEIFEL J. 1972. Collecting and processing data on fish eggs and larvae. NOAA Tech. Rep. NMFS Circ. 370: 1-38.
- MORÓN O. 2000. Características del ambiente marino frente a la costa peruana. Bol Inst Mar Perú. 19(1-2): 179 - 204.
- OCHOA N, GÓMEZ O. 1997. Dinoflagelados del mar peruano como indicadores de masas de agua durante los años 1982 a 1985. Bol Inst Mar Perú. 16(2): 1-60.
- SUNDSTRÖM B. 1986. The marine diatom genus *Rhizosolenia* a new approach to the taxonomy. Lund. Sweden. 196 pp.
- VAN GUELPEL L, MARKLE D F, DUGGAN D J. 1982. An evaluation of accuracy, precision and speed of several zooplankton subsampling techniques. Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer. 40: 226 – 236.
- ZUTA S, GUILLÉN G. 1970. Oceanografía de las aguas costeras del Perú. Bol Inst Mar Perú. (2):157-324.