

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

# INFORME

ISSN 0378-7702

Volumen 46, Número 3



Julio - Setiembre 2019  
Callao, Perú



# CONDICIONES BIO-OCEANOGRÁFICAS EN LA SECCIÓN SAN JOSÉ – ISLAS LOBOS DE AFUERA, LAMBAYEQUE, 2016

## BIO-OCEANOGRAPHIC CONDITIONS IN THE SAN JOSE - LOBOS DE AFUERA ISLANDS SECTION, LAMBAYEQUE, 2016

Javier Castro<sup>1</sup>David Torres<sup>1</sup>Sergio Bances<sup>1</sup>Yohana Céspedes<sup>1</sup>

### RESUMEN

CASTRO J, TORRES, D, BANCES S, CESPEDES Y. 2019. *Condiciones bio-oceanográficas en la sección San José – Islas Lobos de Afuera, Lambayeque, 2016. Inf Inst Mar Perú. 46(3) 397-425.*- En este estudio se muestran las condiciones oceanográficas observadas en el mar frente a Lambayeque durante el 2016, en base a seis prospecciones oceanográficas sobre una sección de 50 millas náuticas perpendicular a la costa, desde caleta San José hasta las islas Lobos de Afuera. Las condiciones oceanográficas muestran evidencias del evento El Niño 2015-2016 a través del predominio de anomalías positivas de la temperatura superficial del mar durante la primera mitad del año, como consecuencia del avance de las ASS y AES sobre sus límites estacionales normales, interactuando con las ACF que estuvieron muy restringidas y cerca de la costa. Se detectó alta concentración de oxígeno disuelto  $>0,5 \text{ mL.L}^{-1}$  a más de 100 metros de profundidad, que evidenció la proyección de la ESCC (Extensión Sur de la Corriente Cromwell, que se registró entre  $3^\circ$  y  $7^\circ\text{S}$ ); durante la segunda mitad del año se observó el restablecimiento de condiciones oceanográficas, alcanzando temperaturas neutras e incluso ligeramente frías hacia fines de año, en octubre y noviembre se encontraron condiciones de hipoxia en amplias zonas sobre el fondo del mar, relacionado al ascenso estacional de la mínima de oxígeno. El afloramiento costero se vio alterado siendo más débil durante la primera mitad del año y más intenso y permanente a partir del declive del evento El Niño 2015-2016. Esta situación produjo que los recursos pesqueros demersales y costeros tuvieran un comportamiento inusual, dispersándose y ausentándose de sus áreas habituales de pesca.

PALABRAS CLAVE: perfil bio-oceanográfico, temperatura del mar, mínima de oxígeno, islas Lobos de Afuera

### ABSTRACT

CASTRO J, TORRES, D, BANCES S, CESPEDES Y. 2019. *Bio-oceanographic conditions in the San José – Lobos de Afuera Islands section, Lambayeque, 2016. Inf Inst Mar Peru. 46(3) 397-425.*- This study shows the oceanographic conditions observed in the sea off Lambayeque in 2016, based on six oceanographic surveys over a section of 50 nautical miles perpendicular to the coast, from San José cove to the Lobos de Afuera Islands. Oceanographic conditions show evidence of the El Niño 2015-2016 event through the predominance of positive sea surface temperature anomalies during the first half of the year, as a consequence of the advance of the SSW and SEW over their normal seasonal limits, interacting with the CCW that were very restricted and near to the coast. A high concentration of dissolved oxygen  $>0.5 \text{ mL.L}^{-1}$  was detected at a depth of more than 100 meters, which evidenced the projection of the SECC (Southern Extension of the Cromwell Current, which was recorded between  $3^\circ$  and  $7^\circ\text{S}$ ). During the second half of the year, the restoration of oceanographic conditions was observed, reaching neutral and even slightly cold temperatures towards the end of the year. In October and November, hypoxia conditions were found in wide areas above the sea bed, related to the seasonal ascent of the oxygen minimum zone. The coastal upwelling was altered, being weaker during the first half of the year and more intense and permanent after the decline of the El Niño 2015-2016 event. This situation caused demersal and coastal fisheries resources to behave abnormally, by dispersing and being absent from their usual fishing areas.

KEYWORDS: bio-oceanographic profile, sea temperature, oxygen minimum zone, Lobos de Afuera islands

## 1. INTRODUCCIÓN

La corriente de Humboldt es una corriente oceánica fría que fluye de sur a norte a lo largo de la costa occidental de Sudamérica; también se la conoce como corriente peruana o del Perú y su límite norte incluye a la región Lambayeque; este límite al ser muy difuso y altamente variable

condiciona a que esta zona presente igualmente condiciones oceanográficas variables, con una dinámica oceánica muy 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, lo que favorece los afloramientos costeros, además de presentar una amplia plataforma continental cuya batimetría de

<sup>1</sup> IMARPE IMARPE, Laboratorio Costero Santa Rosa, Los Pinos s/n Sta. Rosa, Chiclayo. jcastro@imarpe.gob.pe

suave declive es interrumpido cerca de su límite por formaciones insulares como son 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 convergencia de influencias neríticas y oceánicas múltiples, además el área se encuentra en una zona de afloramiento costero de aguas ricas en nutrientes, que generan una 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 ASS, principalmente en invierno, y ocasionalmente las AES avanzan hacia el sur en eventos cálidos de distinta magnitud; por otro lado la zona constituye el extremo sur de la 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 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.

Estas prospecciones adquieren interés ya que combinando la información física y química obtenida, permiten 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 estas 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 y está ubicada también en la zona de afloramiento costero frente a Pimentel.

Las prospecciones se realizaron a lo largo de un perfil de 50 mn entre San José (6°46'00''S, 79°59'33''W) e islas Lobos de Afuera (6°56'30''S, 80°47'02''W), formado por siete estaciones oceanográficas fijas localizadas en forma 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 de las islas Lobos de Afuera.

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.

### Parámetros oceanográficos

Estos parámetros 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

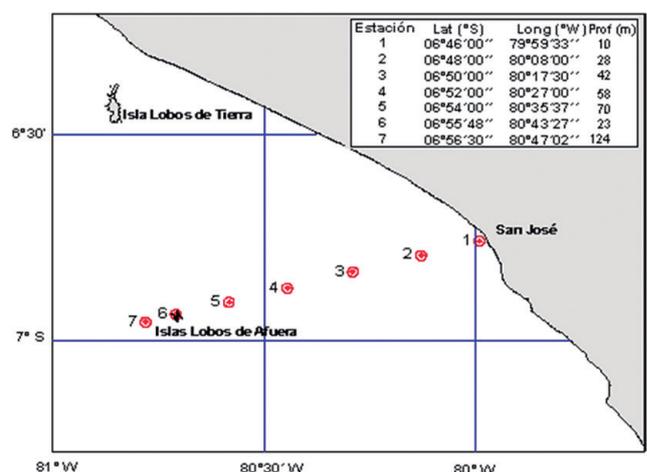


Figura 1.- Mapa mostrando estaciones de muestreo a lo largo del perfil San José – islas Lobos de Afuera

muy cerca de las islas, 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.

Para este fin, 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 Santa Rosa (LC Santa Rosa), analizándose con ayuda de un Salinómetro Portasal 8410a. La medición del pH se efectuó 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 al LC 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 un programa 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 a velocidad de 3 nudos. 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 centrifugación de 15 mL, para procesarlos durante 5 minutos a 2400 RPM, luego de registrar su volumen en mL se dividió entre 6,6273 m<sup>3</sup> que es el volumen de agua filtrada por la red.

Para el análisis cualitativo, se extrajeron dos alícuotas de muestra en placas Petri se evaluó la predominancia de cada organismo, teniendo en cuenta los valores que se dan en la Tabla 1.

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

El análisis cuantitativo del zooplancton se efectuó fraccionando las muestras en submuestras de diferentes volúmenes dependiendo de la densidad de cada grupo taxonómico en la muestra total, siguiendo el método *beaker Huntsman Marine Laboratory* (VAN GUELPEN *et al.* 1982). La submuestra obtenida fue colocada en placas tipo Bogorov para su análisis respectivo 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 5 minutos y 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.

Tabla 1.- Predominancia de organismos fitoplanctónicos

Células x campo	símbolo	significado
0	0	ausente
1-5	1	presente
6-15	2	escaso
16-25	3	abundante
Más 25	4	muy abundante

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### CARACTERIZACIÓN HIDROGRÁFICA

##### Temperatura superficial del mar en San José

La característica principal de la temperatura superficial del mar (TSM) registrada en la caleta San José es su constante fluctuación interanual (Fig. 2) que se presenta en forma irregular.

Ciclos ENOS provocan fuertes 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 en los años 2002, 2006, 2008, 2009, 2012 y 2015-2016, que sin alcanzar la magnitud del evento de 1997-98, su prolongada duración provocó importantes alteraciones de las condiciones oceánicas. Otro evento importante es La Niña, que se manifestó durante los años 1996 y 1999 prolongándose hasta el año 2000 e incluso se dejó sentir el 2001, La Niña 2007, 2010 - 2011 que dejó sentir su influencia hasta el verano del 2012 y en el 2013.

El 2016 estuvo marcado por el declive del evento El Niño iniciado el año anterior y que concluyó entre abril y mayo; en junio-julio se inició el proceso de normalización de las temperaturas (Tabla 2). El análisis de la temperatura superficial del mar medida en la caleta San José (Fig. 3) marcó anomalías que alcanzaron +2,8 °C en enero que llegaron -0,7 °C en diciembre, como consecuencia del fortalecimiento del Anticiclón del Pacífico Sur (APS) que produjo el incremento de los vientos del sur y sureste que provocó el progresivo repliegue de las aguas cálidas fuera del área.

##### Parámetros ambientales entre San José e islas Lobos de Afuera

Los muestreos realizados entre marzo y noviembre, permitieron observar que la temperatura superficial media del mar fluctuó entre 16,8 (septiembre) y 23,5 °C (marzo) (Tabla 2). Las temperaturas medias se encontraron por encima de las esperadas (Fig. 4). Las temperaturas altas propias de El Niño registradas desde el 2015 se reflejaron durante las prospecciones efectuadas en el primer semestre del 2016.

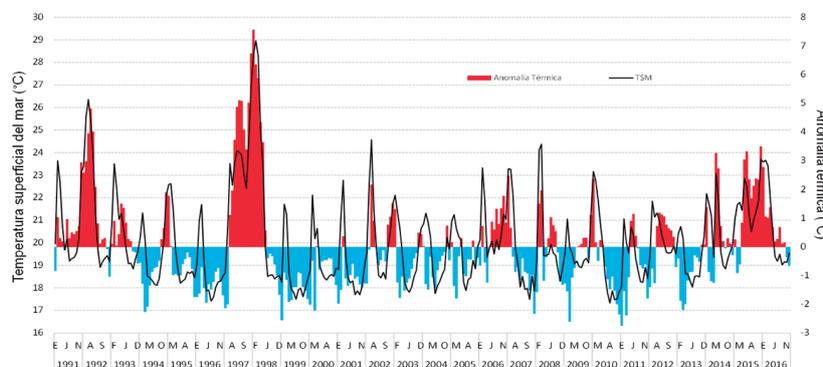


Figura 2.- Variación de la temperatura superficial (TSM) del agua de mar en playa San José, 1991 – 2016

Tabla 2.- Temperatura superficial por estación, promedio y anomalía térmica, durante los perfiles oceanográficos, 2016

Mes	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est 6	Est 7	TSM Promedio	*TSM Patrón	Anomalía
Marzo	22,3	21,5	22,8	24,3	24,7	25,1	24,0	23,5	21,9	1,6
Abril	21,2	19,2	19,4	19,6	21,3	21,0	21,2	20,4	19,8	0,6
Julio	17,6	16,8	16,6	17,1	17,6	18,4	18,4	17,5	17,3	0,2
Septiembre	16,7	15,8	16,1	16,5	17,3	17,9	17,5	16,8	16,7	0,1
Octubre	17,5	17,4	16,5	17,1	18,4	18,1	18,4	17,6	16,7	0,9
Noviembre	16,1	17,0	17,9	18,0	18,5	20,5	19,0	18,1	17,8	0,3

\* Temperatura superficial patrón para el área, cuadrado Marsden (6° – 7°S)

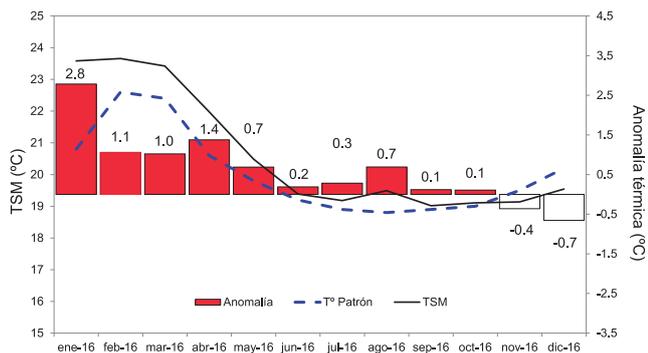


Figura 3.- Serie de tiempo de la TSM registrada en la playa de San José, 2016

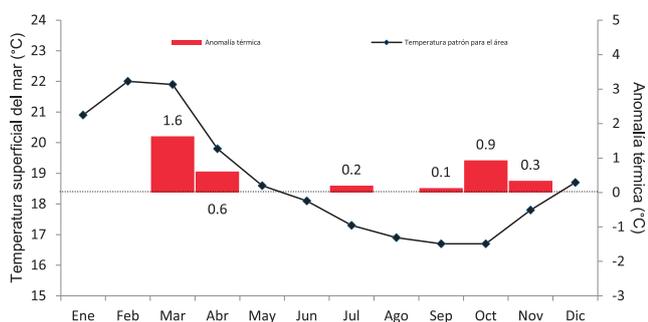


Figura 4.- Anomalías de temperatura superficial registradas en el perfil oceanográfico San José – Islas Lobos de Afuera, respecto a la temperatura superficial mensual patrón (Cuadrado Marsden 308-60) para el área, 2016

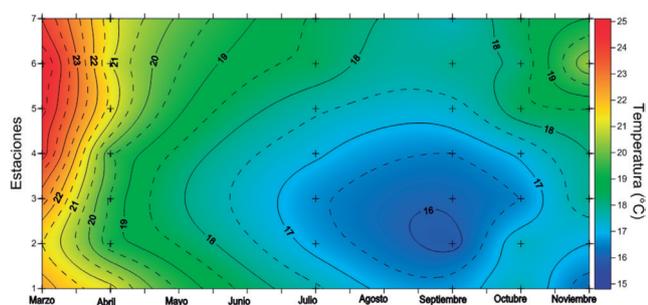


Figura 5.- Distribución espacio temporal de la temperatura superficial a lo largo del perfil oceanográfico San José - islas Lobos de Afuera. 2016

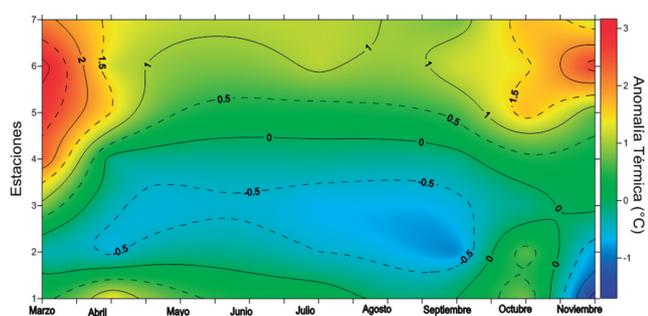


Figura 6.- Distribución espacio temporal de las anomalías térmicas en superficie a lo largo del perfil oceanográfico San José - islas Lobos de Afuera. 2016

Aunque los registros de temperatura durante los perfiles oceanográficos difieren ligeramente de los valores obtenidos en mediciones diarias en la playa de la caleta San José, se observa concordancia con las tendencias generales. Los valores en la playa reflejan mejor el comportamiento de aguas someras restringidas a la zona litoral y que están moduladas por procesos locales de poca extensión (aportes de los ríos, situación de las mareas, intensidad del brillo solar). Las temperaturas obtenidas lejos de la costa, reflejan los procesos oceánicos de mesoescala como el desplazamiento del frente oceánico y el frente ecuatorial, cuyos efectos pueden verse atenuados por eventos de surgencia cercanos a la costa o al aporte de los ríos.

Las anomalías registradas en marzo caracterizaron a este mes como cálido al compararlo con las registradas en los meses subsiguientes, al igual que lo observado en el año 2015 cuando las TSM fueron mayores en abril (CASTRO *et al.* 2016) y difiere de las encontradas en el año 2014 cuando las temperaturas se encontraron bajas en el verano, elevadas entre mayo y junio, moderadas en invierno y algo bajas en primavera (CASTRO *et al.* 2015). Al igual que lo observado el año 2015, durante el 2016 esas condiciones no se reflejaron muy bien cerca de la costa ya que durante el primer trimestre las temperaturas en el litoral fueron ligeramente más frías que las registradas durante las prospecciones cuando las temperaturas se presentaron altas lejos de la costa.

La temperatura promedio más alta en el 2016 (23,5 °C) se registró en marzo (fines del verano), lo que significó anomalía +1,6 °C (la más alta con respecto al patrón para el área) (Tabla 2, Figs. 5, 6), la retracción de las ACF y la proyección de aguas de mezcla (ASS+AES) en casi toda el área, durante ese mes, generó condiciones térmicas variables, sin alcanzar la intensidad de lo observado el 2015, por lo que la gradiente térmica superficial, alcanzó 3,6 °C a diferencia de marzo 2015 cuando la gradiente alcanzó 1,5 °C presentando condiciones superficiales más homogéneas.

Tabla 3.- Oxígeno disuelto superficial por estación, registrado durante los perfiles oceanográficos, 2016

Mes	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est 6	Est 7	OD promedio
Marzo	2,91	3,04	4,00	5,32	5,86	6,03	5,00	4,59
Abril	5,20	2,17	2,03	2,62	4,82	3,89	4,43	3,59
Julio	5,36	3,71	2,55	2,89	3,12	3,54	4,25	3,63
Septiembre	3,63	2,83	5,28	4,29	5,24	6,61	5,51	4,77
Octubre	3,34	3,61	6,91	7,36	7,32	7,33	6,87	6,11
Noviembre	1,68	5,96	6,01	5,96	5,45	5,09	5,12	5,04

El oxígeno disuelto superficial reportó concentraciones promedio que variaron entre 3,59 mL.L<sup>-1</sup> (abril) y 6,11 mL.L<sup>-1</sup> (octubre), presentando los valores extremos en noviembre (1,68 y 6,01 mL.L<sup>-1</sup>) (Tabla 3), como consecuencia a la fuerte actividad fotosintética (floraciones algales) fuera de las 10 mn de la costa en donde las condiciones favorables de luz, nutrientes y estabilidad de la columna de agua permitió la alta productividad primaria, elevando también los tenores de oxígeno (Fig. 7).

Los valores promedio de salinidad superficial variaron entre 35,045 y 35,148 ups en noviembre y julio, respectivamente. Los registros de salinidad alcanzaron el máximo de 35,228 ups a 50 mn de la costa en marzo (Estación 7) (Tabla 4, Fig. 8).

Mediante el gráfico T-S de los valores superficiales fue posible identificar masas de agua detectadas en las prospecciones del 2016. En marzo los valores encontrados correspondieron principalmente a

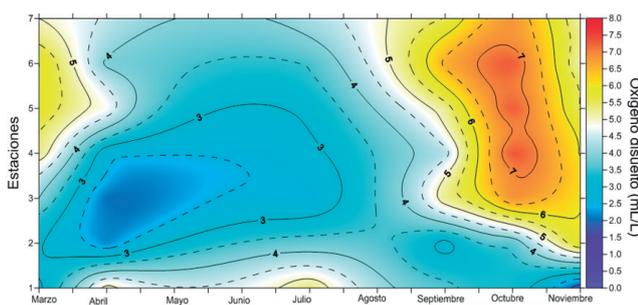


Figura 7.- Distribución espacio temporal del oxígeno disuelto superficial a lo largo del perfil oceanográfico San José - islas Lobos de Afuera. 2016

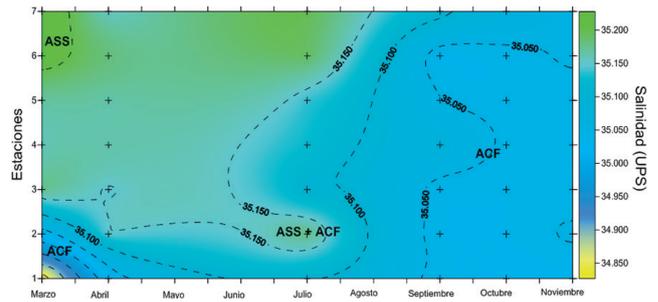


Figura 8.- Distribución espacio temporal de la salinidad superficial a lo largo del perfil oceanográfico San José - islas Lobos de Afuera. 2016

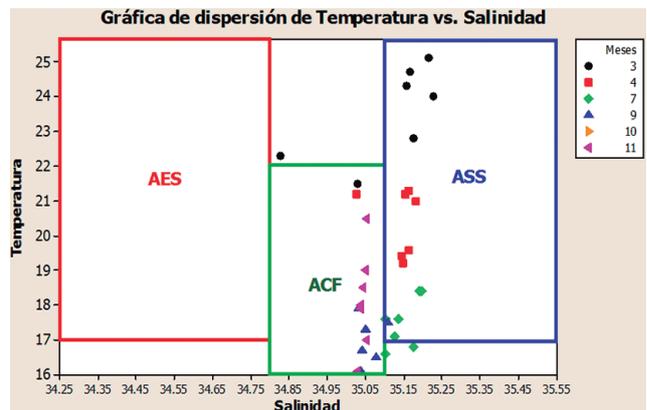


Figura 9.- Diagrama T-S de la superficie del mar, perfil oceanográfico San José - islas Lobos de Afuera. 2016

ASS y aguas de mezcla con ACF muy cerca de la costa. En abril se observó el predominio de ASS y ACF. En noviembre las ACF predominaron en toda el área y en septiembre predominaron masas de ACF, pero lejos de la costa se encontró influencia de las ASS (Fig. 9).

El potencial de hidrógeno (pH) a nivel superficial varió entre 7,74 (abril) y 8,40 (septiembre), presentándose los valores más bajos en marzo a 2 mn de la costa (Est. 1) y a 10 mn de la costa en abril (Est. 2) (Tabla 5). En septiembre y octubre, fuera de las 20 mn de la costa, se presentaron los valores más altos de pH, y las condiciones favorables de luz, nutrientes y estabilidad de la columna de agua permitieron alta productividad primaria, elevando los tenores de oxígeno y de pH (Fig. 10).

Tabla 4.- Salinidad superficial mar registrado por estación, perfiles oceanográficos, 2016

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
Marzo	34,827	35,031	35,177	35,159	35,168	35,216	35,228	35,115
Abril	35,026	35,148	35,147	35,164	35,165	35,183	35,154	35,141
Julio	35,102	35,178	35,102	35,127	35,138	35,192	35,198	35,148
Septiembre	35,042	35,039	35,039	35,078	35,051	35,032	35,111	35,056
Noviembre	35,029	35,055	35,040	35,039	35,046	35,053	35,051	35,045

Tabla 5.- Potencial de hidrógeno (pH) superficial en el mar por estación, registrado durante los perfiles oceanográficos, 2016

Mes	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est 6	Est 7	pH promedio
Marzo	7,67	7,87	8,00	8,07	8,11	8,06	7,95	7,96v
Abril	7,85	7,61	7,62	7,65	7,85	7,75	7,82	7,74
Julio	8,18	8,16	8,10	8,09	8,09	8,15	8,10	8,12
Septiembre	8,18	8,23	8,48	8,42	8,47	8,57	8,47	8,40
Octubre	7,85	7,88	8,24	8,30	8,34	8,35	8,31	8,18
Noviembre	8,01	8,24	8,26	8,32	8,16	8,16	8,15	8,19

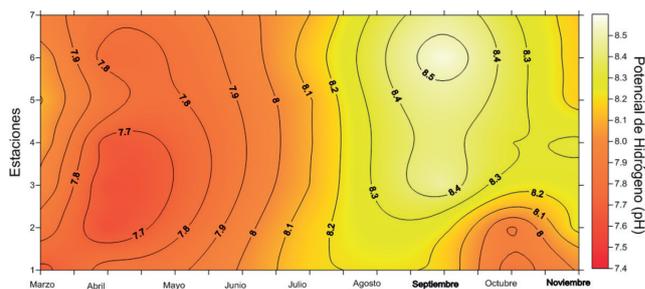


Figura 10.- Distribución espacio temporal del potencial de hidrógeno (pH) superficial a lo largo del perfil oceanográfico San José - islas Lobos de Afuera. 2016

**Parámetros ambientales en sección y fondo**

Los gráficos de temperatura en la sección de trabajo, muestran presencia de aguas cálidas en marzo, con temperatura mayor a 22 °C; se observó hundimiento de las isolíneas de 20 °C y menores por debajo de 30 m de profundidad y fuera de las

20 mn de la costa, lo que podría indicar flujos hacia el sur de aguas cálidas cerca de la costa. En abril se observó la dispersión de esas masas cálidas por acción del afloramiento, posteriormente aguas de mezcla entre ACF+ASS y más tarde el predominio de las ACF en el área (Fig. 11).

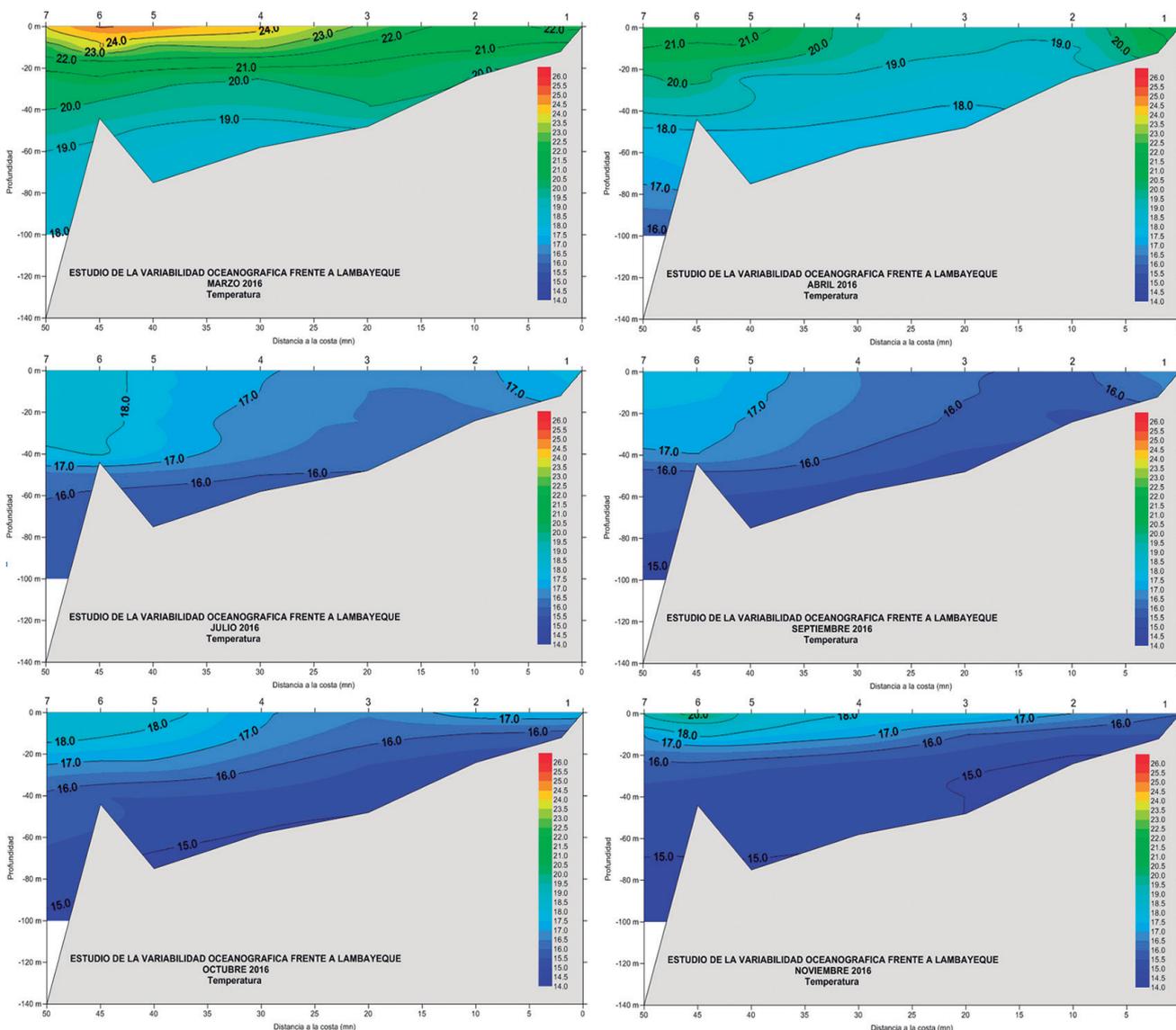


Figura 11.- Distribución de la temperatura en la sección en los distintos perfiles oceanográficos San José – islas Lobos de Afuera, 2016

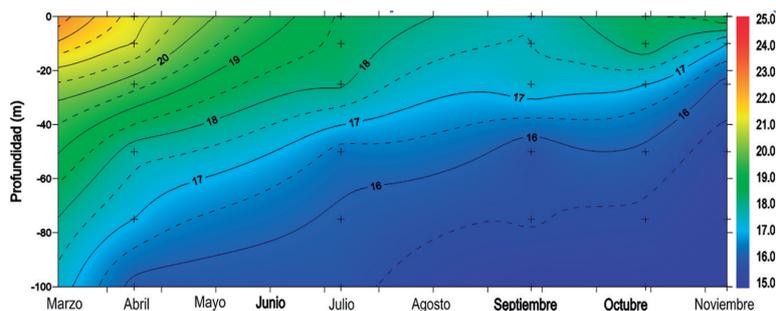


Figura 12.- Distribución de la temperatura a lo largo del tiempo en la estación 7 (50 mn de la costa), perfil oceanográfico San José – islas Lobos de Afuera. 2016

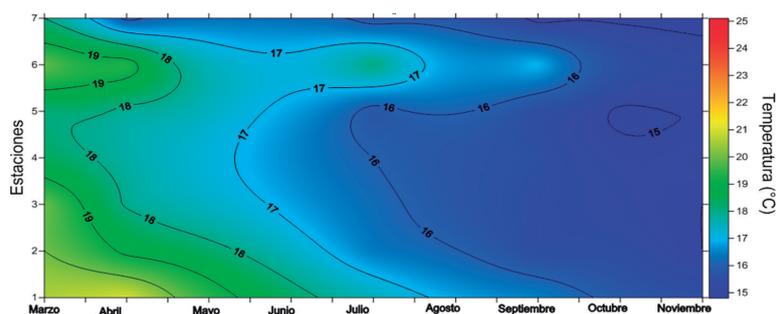


Figura 13.- Distribución espacio-temporal de las temperaturas cerca del fondo, perfil oceanográfico San José – islas Lobos de Afuera. 2016

Este enfriamiento se presentó en forma sostenida debido a que se sucedieron episodios intermitentes de intensificación de vientos de componente sur, que generaron los procesos de afloramiento en la segunda mitad del año. En marzo, aguas cálidas avanzaron frente a la costa de Lambayeque impulsadas por el debilitamiento de los vientos de componente sur y que generaron ondas Kelvin, que aunque débiles, permitieron el avance de masas de agua del norte que dejaron sentir su influencia en el área e interactuaron con las ASS predominantes en el área, elevando la temperatura, aunque disminuyó levemente la salinidad en el área, perturbando las condiciones en las capas más superficiales. 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, que fueron reemplazadas por aguas frías de la corriente peruana con influencia de las ASS en forma casi permanente durante el segundo semestre del año.

Tomando a la estación 7, ubicada a 50 mn de la costa como referencia para el análisis a través del tiempo, se evidencia que el ascenso sostenido de las isolíneas de temperatura como la de 18 °C,

que en marzo se había localizado alrededor de los 75 m de profundidad, llega hasta la superficie en julio, sugiriendo que el ligero calentamiento observado cerca de la costa ese mismo mes con anomalías térmicas de +0,7 °C solo involucró la franja costera como consecuencia de la relajación de corta duración de los vientos en dicho periodo. Las condiciones cálidas (El Niño) solo se observaron en abril hasta su finalización alrededor del mes de mayo.

Durante las prospecciones, la isoterma de 15 °C no pudo ser detectada al igual que lo ocurrido el 2015; sin embargo, el proceso de enfriamiento se observó con el ascenso de la isoterma de 16 °C en forma sostenida a partir de abril hasta hacerse casi superficial en noviembre y a 50 mn de la costa (Fig. 12). Situación parecida a lo ocurrido el 2014, cuando desde julio comenzó el proceso de normalización con el ascenso de la isoterma de 15 °C entre agosto y setiembre sobre 70 m de profundidad (CASTRO et al. 2015) y muy diferente a lo observado en el año 2013 cuando la isoterma de 15 °C empezó su ascenso desde mediados de junio alcanzando 50 m de profundidad en setiembre, comenzando a profundizarse a partir de octubre sin llegar a desaparecer del área (CASTRO et al. 2014).

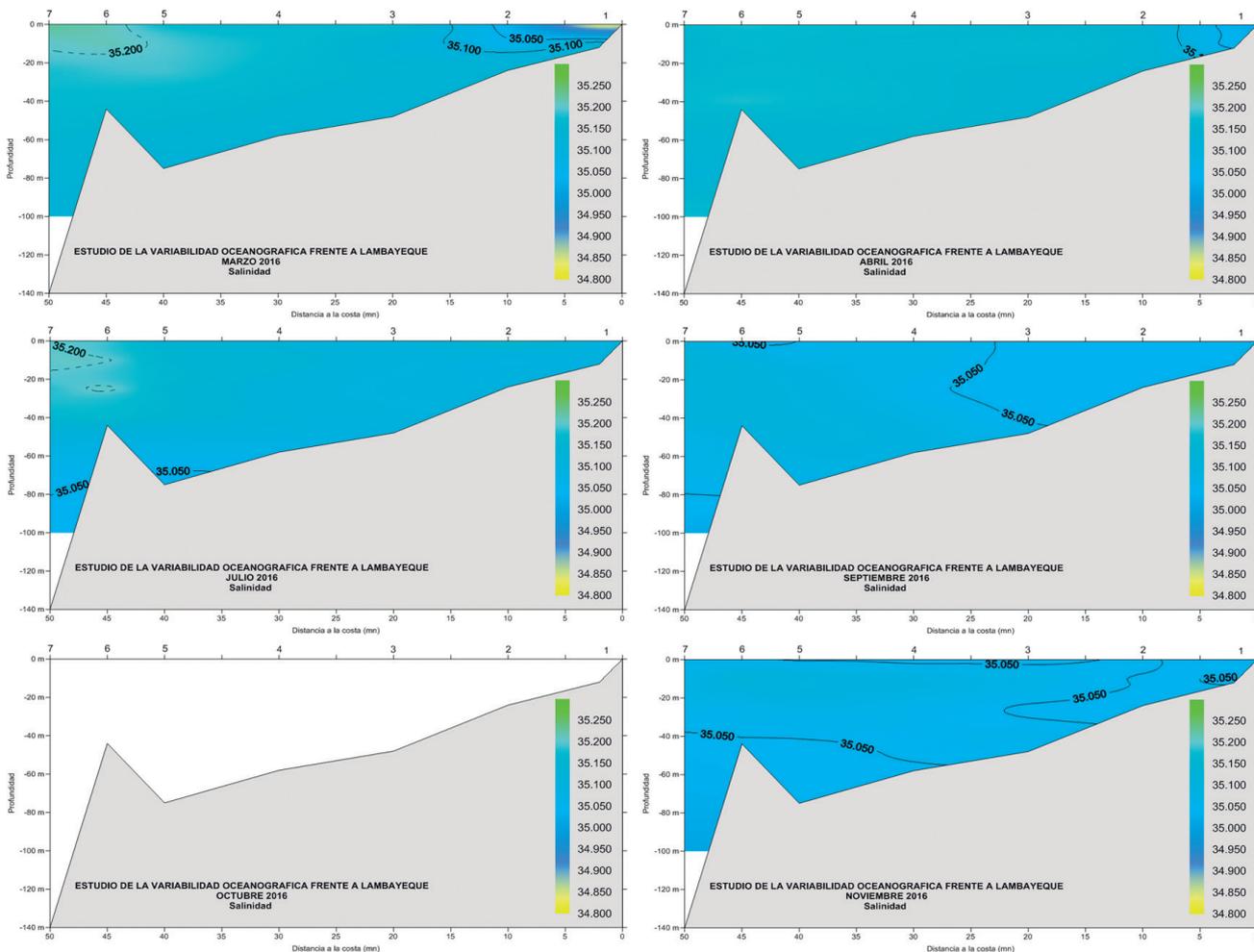


Figura 14.- Distribución de salinidad en la sección en los distintos perfiles oceanográficos San José – islas Lobos de Afuera. 2016

En la figura 13 se observa que la isoterma de 15 °C se hizo presente en octubre-noviembre en un núcleo a 70 metros de profundidad.

La salinidad promedio en superficie durante el 2016 varió entre 35,045 y 35,148 ups, los valores más altos se encontraron en marzo a 50 mn de la costa, relacionados al ingreso de ASS (con salinidades alrededor de los 34,100 ups y temperaturas elevadas que superaron los 24 °C) desde el oeste ante el retroceso de las ACF que se replegaron muy cerca de la costa (Fig. 14). Durante el segundo semestre del año se observó el progresivo restablecimiento de las condiciones normales en el área con el predominio de las ACF en octubre y noviembre en la mayor parte del área.

A 50 mn de la costa se observa que las ASS estuvieron más superficiales (50 m de profundidad)

en marzo y abril, en julio intensificaron su proyección hacia la costa, y por la intermitencia del Anticiclón del Pacífico Sur (APS) se generaron aguas de mezcla con las ACF en septiembre, estableciéndose en la mayor parte del área en octubre y noviembre (Fig. 15).

En marzo se observaron aguas con concentraciones hipóxicas y hasta anóxicas que se extendieron por amplias zonas sobre la plataforma hasta muy cerca de la costa y entre la costa y las islas; al oeste de las islas se observaron niveles de oxígeno ligeramente más altos, muy similar a lo observado durante el mismo mes del año 2015 (CASTRO *et al.* 2016) (Fig. 16). La concentración de oxígeno disuelto en la sección evidenció presencia de aguas ESCC particularmente intensa en abril, con concentraciones superiores a 1 mL.L<sup>-1</sup> hasta los 100 m de profundidad (Fig. 16).

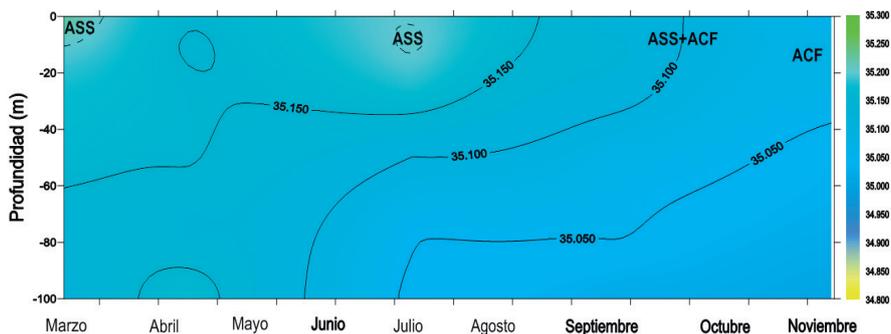


Figura 15.- Distribución de salinidad entre 0 y 100 m de profundidad en la estación 7 (50 mn de la costa), perfil oceanográfico San José – islas Lobos de Afuera. 2016

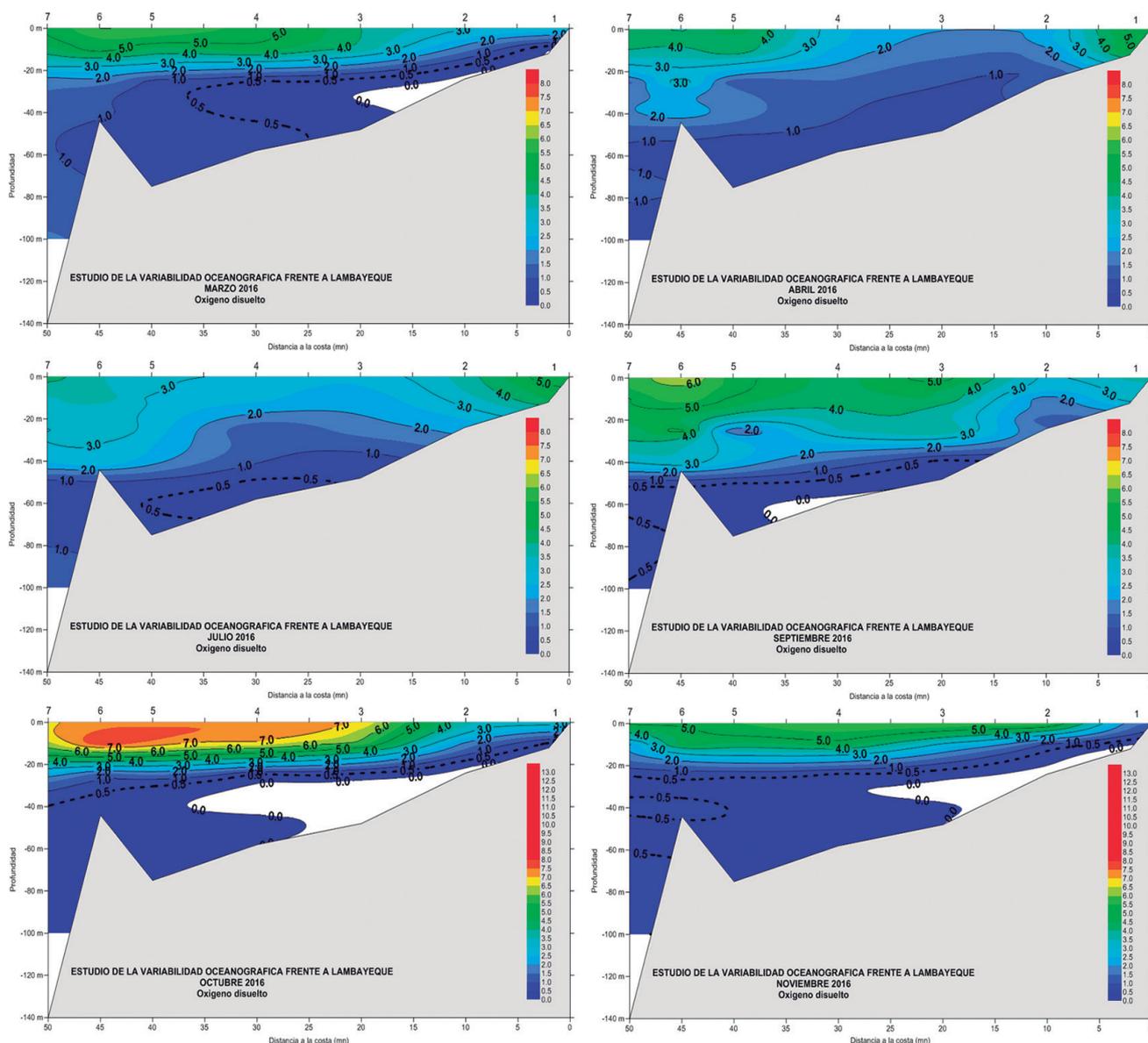


Figura 16.- Distribución del oxígeno disuelto en la sección, perfil oceanográfico San José – islas Lobos de Afuera. 2016

A diferencia del año 2015, en el 2016 se presentaron cerca del fondo, entre las islas Lobos de Afuera y el continente, zonas de baja concentración de oxígeno, a excepción de abril. Situación muy similar a lo observado durante el 2014, cuando en los meses de marzo, abril y octubre se presentaron cerca del fondo amplias zonas con valores menores a 0,5 mL/L entre la costa y las islas Lobos de Afuera, sobre fondos blandos de naturaleza fango arenoso, situación que se vio intensificada en octubre cuando se hicieron casi superficiales a 4 mn de la costa (CASTRO et al. 2015).

En la estación 7, ubicada a 50 mn de la costa, se observó que la aproximación de aguas cálidas ASS y del norte durante marzo y abril no produjeron una depresión importante de las isolíneas de concentración de oxígeno disuelto, incluso se pudo observar disminución de esa concentración en la columna de agua que coincidió con el fin del evento El Niño en mayo, aun cuando la isoxígena de 0,5 mL/L recién se observó a inicios de primavera hasta llegar muy cerca de la superficie en noviembre, aunque

por debajo de los 70 m se encontraron valores ligeramente superiores a 0,5 mL/L. En octubre se observaron altas concentraciones de oxígeno disuelto que deprimieron ligeramente las isolíneas superficiales, situación que coincidió con alta concentración de fitoplancton superficial (Fig. 17).

La concentración de oxígeno disuelto sobre el fondo presentó a la isoxígena de 0,5 mL/L distribuida desde julio hasta noviembre, solo durante el otoño se encontraron concentraciones superiores a 1 mL/L. En la prospección de marzo, a manera de una masa de agua restringida a zonas costeras relativamente someras confinadas entre los 10 y 50 m de profundidad, se presentaron concentraciones por debajo de 0,5 mL/L, evento bastante común durante el verano en el área. Zonas al oeste de las islas Lobos de Afuera y con mayores profundidades presentaron valores relativamente altos de oxígeno lo que indicó la presencia de aguas de la ESCC que se intensificaron entre abril y julio (Fig. 18).

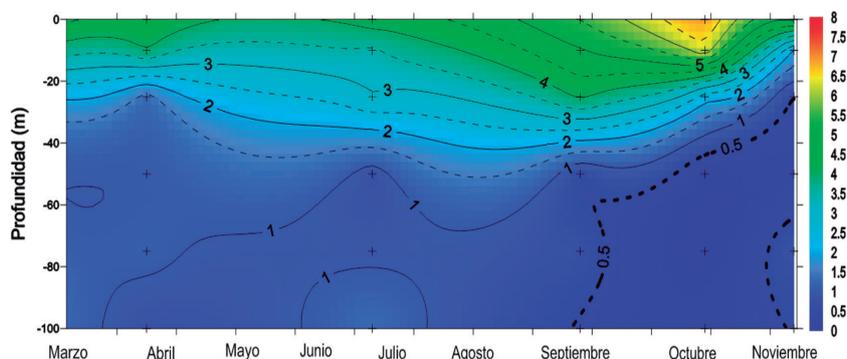


Figura 17.- Distribución del oxígeno disuelto (mL/L) en la estación 7 (50 mn de la costa), perfil oceanográfico San José – islas Lobos de Afuera, 2016

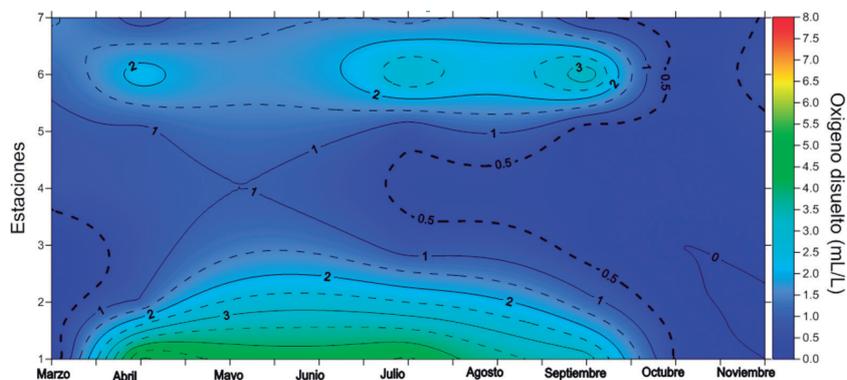


Figura 18.- Distribución sobre el fondo del oxígeno disuelto (mL/L), a lo largo del tiempo. Perfil oceanográfico San José – islas Lobos de Afuera, 2016

La concentración de iones hidronio (pH) en la sección fueron más altos en septiembre cuando se encontraron valores mayores a 8,0 hasta 95 m de profundidad. Los valores más bajos se encontraron en abril variando entre 7,5 (sobre 60 m de profundidad fuera de las 25 mn de la costa) y 7,8 en superficie. Los valores altos de pH en superficie, superiores a 8, estuvieron asociados a masas de agua con valores altos de oxígeno disuelto (Fig. 19).

En el análisis del comportamiento de las isolíneas del pH a 50 mn de la costa se observó que entre julio y septiembre se produjo la máxima depresión de las isolíneas, detectándose isolíneas a más de 100 m de profundidad, esa situación se revirtió en octubre y noviembre cuando ascendieron sobre 20 m, después de la disminución de la TSM, lo que favoreció la proliferación del fitoplancton y la consiguiente elevación de las concentraciones de oxígeno en las capas más superficiales (Fig. 20).

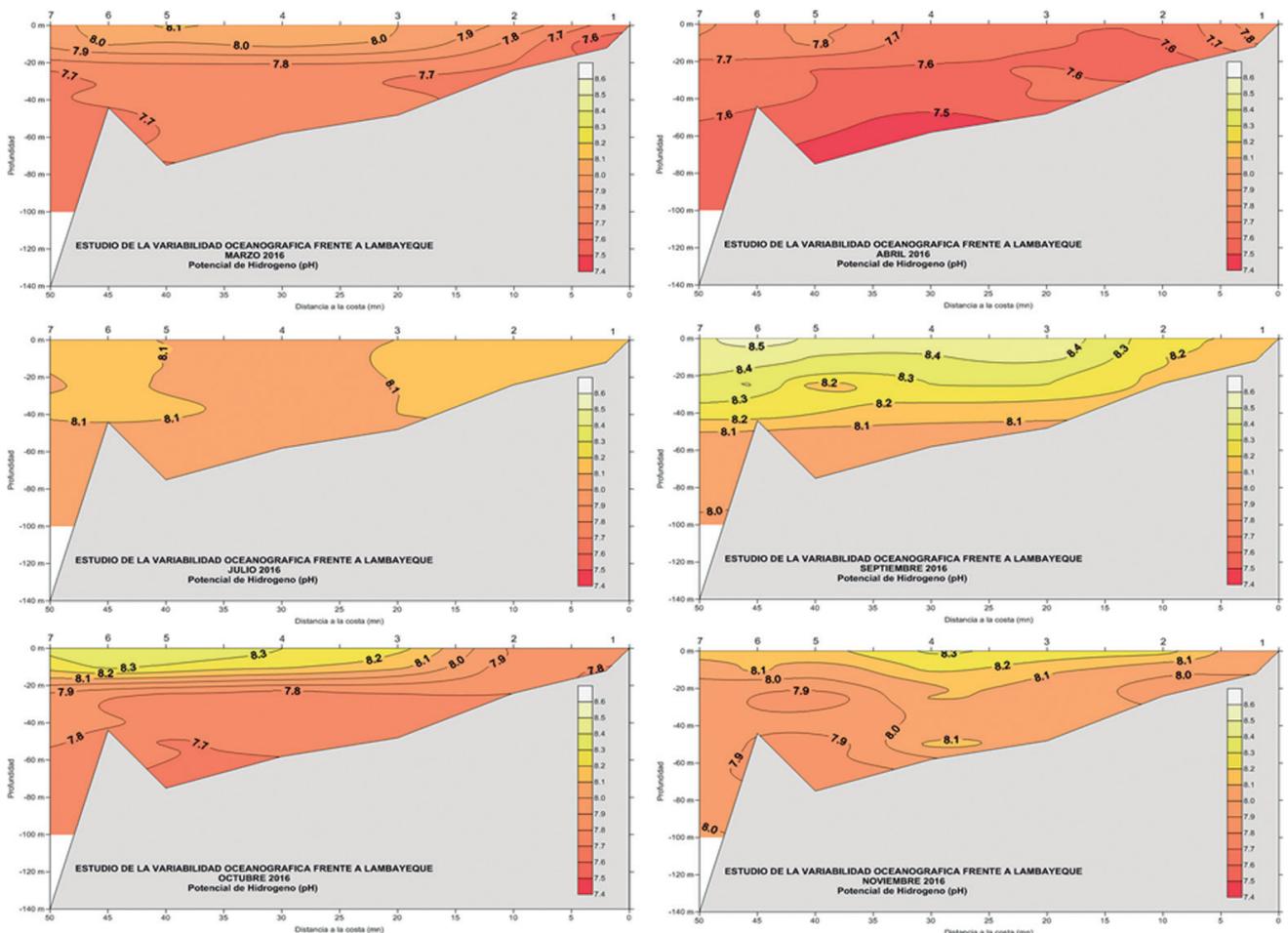


Figura 19.- Distribución del pH en la sección, perfil oceanográfico San José – islas Lobos de Afuera. 2016

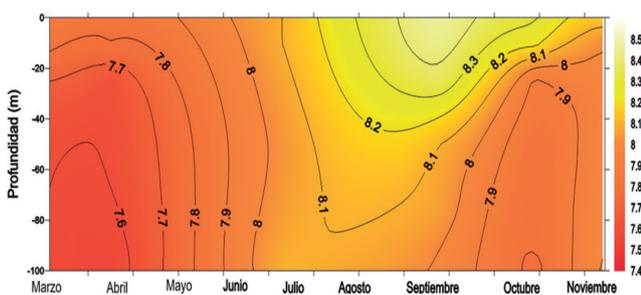


Figura 20.- Distribución del pH en la estación 7 (50 mn de la costa), perfil oceanográfico San José – islas Lobos de Afuera. 2016

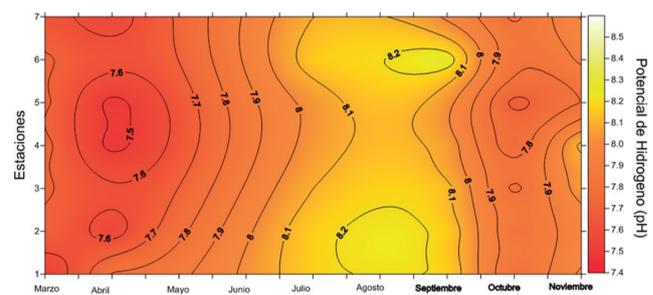


Figura 21.- Distribución sobre el fondo de pH. Perfil oceanográfico San José – islas Lobos de Afuera. 2016

Cerca del fondo (Fig. 21) los valores más bajos se encontraron entre 50 y 70 m de profundidad y entre 30 y 40 mn de la costa, relacionados con valores bajos de oxígeno disuelto sobre fondos con sedimentos blandos, los valores más bajos del 2016 se encontraron en abril.

**Nutrientes en la sección en superficie y fondo**

Las concentraciones promedio de fosfatos en aguas superficiales alcanzaron valores entre 0,27  $\mu\text{M}$  (abril) y 1,99  $\mu\text{M}$  (noviembre) que difieren de los encontrados el año 2015 cuando fluctuaron entre 1,37  $\mu\text{M}$  (noviembre) y 2,14  $\mu\text{M}$  (octubre). En noviembre se encontró el valor puntual más elevado (5,57  $\mu\text{M}$ ) a 2 mn de la costa (Est. 1); el 2016 el valor más bajo (0,08  $\mu\text{M}$ ) se encontró en abril a 10 mn de la costa (Est. 2) relacionado a masas de agua cálidas (Tabla 6, Fig. 22).

Los bajos niveles de fosfatos en abril se deberían a la disminución del afloramiento costero y al predominio de aguas cálidas hasta muy cerca de la costa. En los meses posteriores se pudo apreciar la recuperación de este nutriente hasta octubre cuando se observó su disminución (Tabla 6, Fig. 22).

Tabla 6.- Concentración de fosfatos ( $\mu\text{M}$ ) en superficie por estación. Perfiles oceanográficos, 2016

Mes	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est 6	Est 7	Promedio
Marzo	1,84	0,79	0,84	0,63	0,47	0,51	1,60	0,96
Abril	0,22	0,08	0,25	0,22	0,17	0,36	0,58	0,27
Julio	1,60	1,54	1,82	1,94	2,28	1,47	2,27	1,84
Septiembre	3,37	1,94	0,97	1,32	1,29	1,11	1,14	1,59
Octubre	2,27	2,34	0,65	0,61	0,29	0,68	0,74	1,08
Noviembre	5,57	1,92	1,32	1,47	0,90	1,54	1,21	1,99

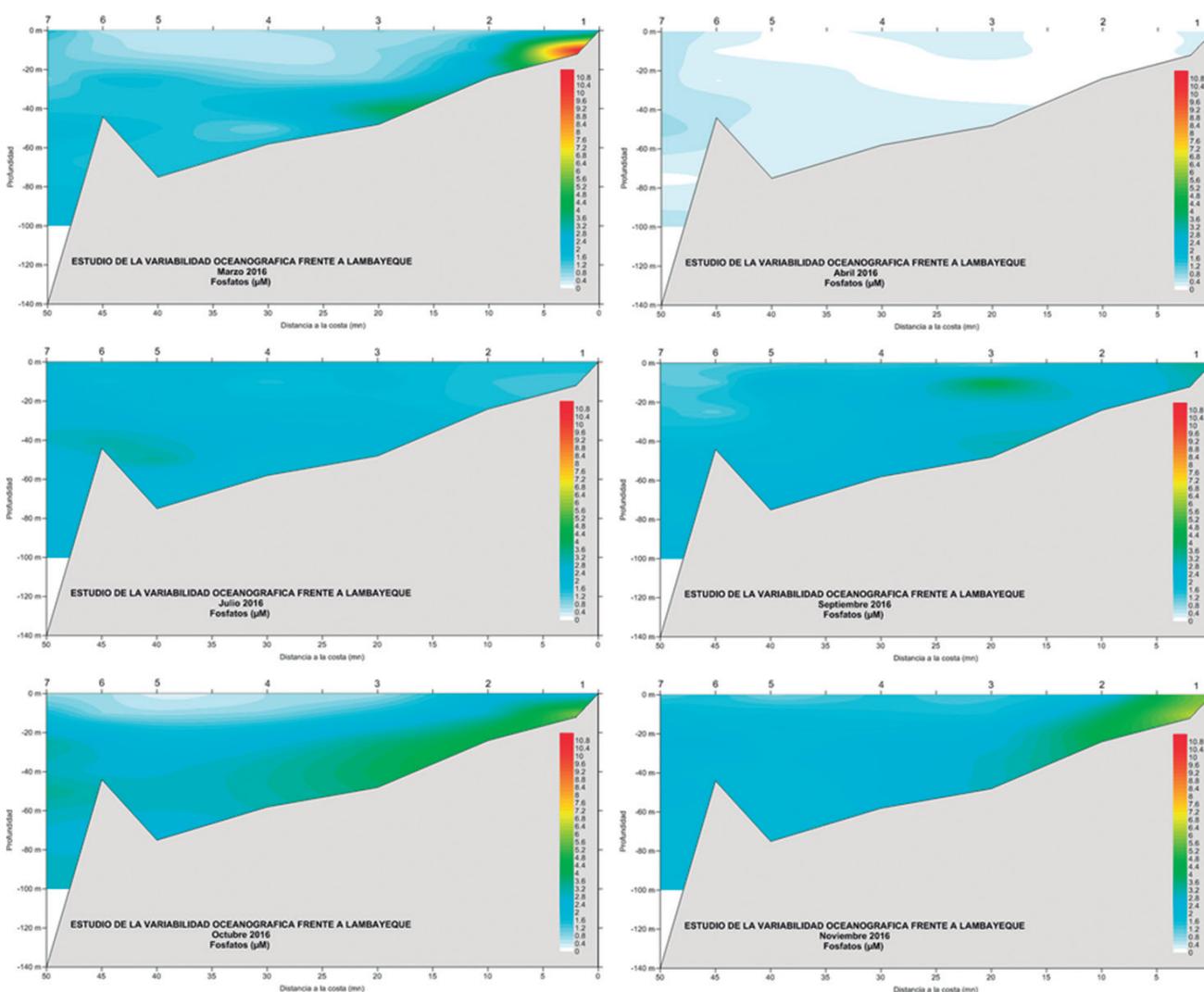


Figura 22.- Distribución de fosfatos ( $\mu\text{M}$ ), perfil oceanográfico San José – islas Lobos de Afuera, 2016

La concentración de los fosfatos al oeste de las islas Lobos de Afuera estuvo principalmente condicionada al tipo de masa de agua predominante, es así que las menores concentraciones se encontraron en marzo y abril (<1,0  $\mu\text{M}$ ) (Fig. 23) relacionadas a aguas cálidas, a partir de esos momentos comienza a incrementarse la concentración con el aporte de aguas de afloramiento costero que interaccionaron con las ASS, alcanzando concentraciones superficiales mayores a 2,20  $\mu\text{M}$  en julio y concentraciones subsuperficiales superiores a 3  $\mu\text{M}$  en octubre por debajo de los 25 m de profundidad.

La concentración de fosfatos en superficie estuvo condicionada al tipo de masa de

agua predominante, los menores valores se encontraron en abril-mayo (0,5  $\mu\text{M}$ ) (Fig. 24) relacionado con el predominio de aguas cálidas.

Cerca del fondo, la concentración de fosfatos presentó distribución heterogénea, con bajas concentraciones en casi toda el área en abril. En marzo se observó gran disponibilidad de este nutriente sobre el fondo desde la orilla hasta poco más allá de las 20 mn. El incremento del afloramiento costero durante la segunda mitad del año con presencia de agua poco oxigenada sobre el fondo cercano a la costa al parecer incrementó su concentración entre octubre y noviembre (Fig. 25).

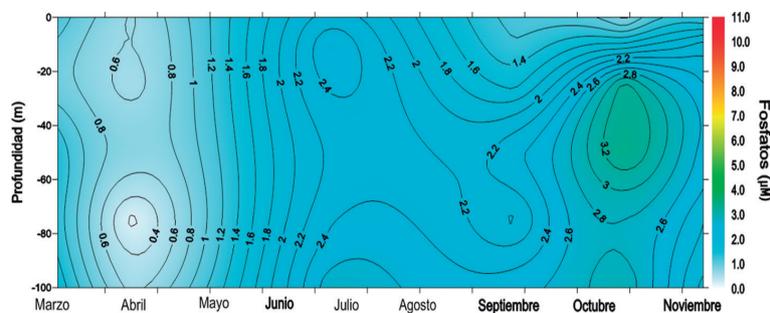


Figura 23.- Distribución de fosfatos ( $\mu\text{M}$ ) hasta 100 m de profundidad en la estación 7 (50 mn de la costa). Perfil oceanográfico San José – islas Lobos de Afuera. 2016

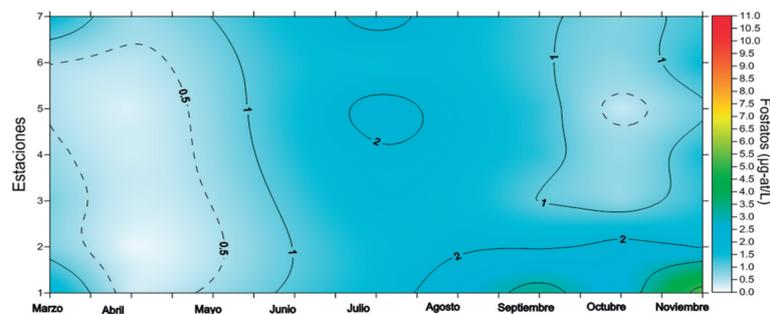


Figura 24.- Distribución superficial de fosfatos ( $\mu\text{M}$ ). Perfil oceanográfico San José – islas Lobos de Afuera. 2016

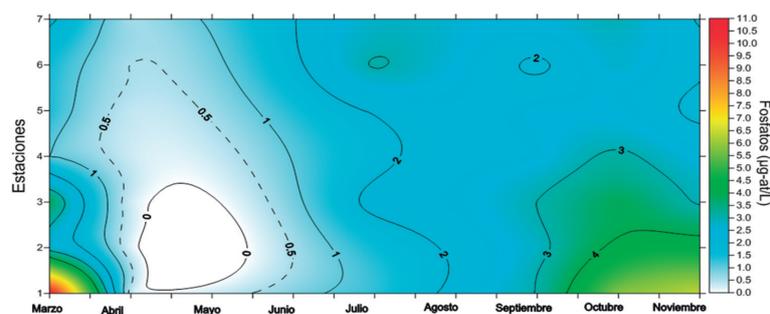


Figura 25.- Distribución de fosfatos cerca del fondo ( $\mu\text{M}$ ). Perfil oceanográfico San José – islas Lobos de Afuera. 2016

Tabla 7.- Concentración de silicatos ( $\mu\text{M}$ ) en superficie por estación, registrado durante los perfiles oceanográficos, 2016

Mes	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est 6	Est 7	Promedio
Marzo	16,94	1,64	0,60	0,34	0,70	1,16	2,74	3,45
Abril	3,79	5,93	6,35	6,77	3,96	5,45	4,48	5,25
Julio	3,13	5,58	9,62	7,19	8,17	8,58	6,22	6,93
Septiembre	18,52	15,52	2,17	1,99	1,42	1,06	2,61	6,18
Octubre	14,67	14,16	3,10	2,72	2,09	2,71	2,55	6,00
Noviembre	52,61	4,43	0,52	0,20	1,13	1,03	0,20	8,59

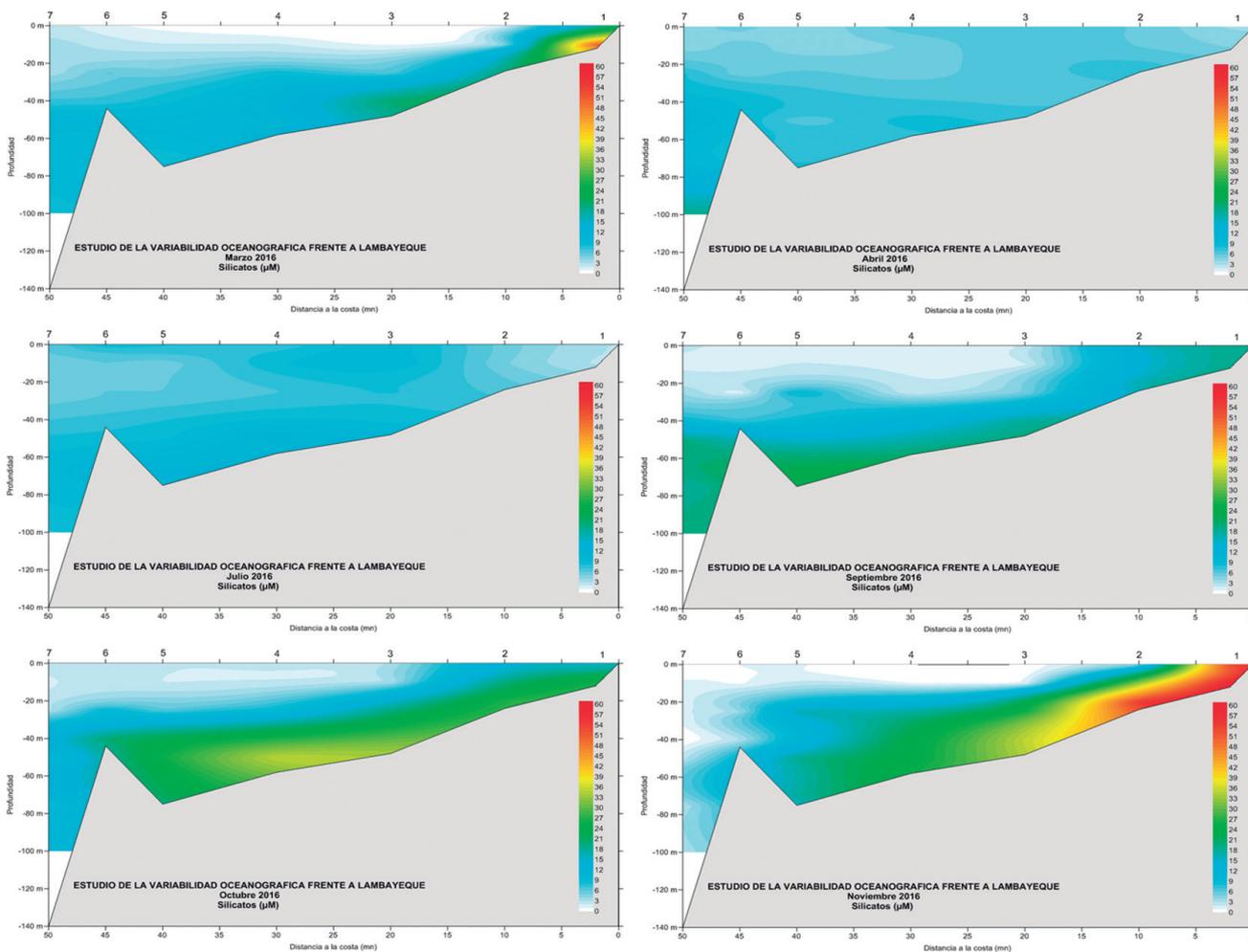


Figura 26.- Distribución de concentración de silicatos ( $\mu\text{M}$ ) en la sección. Perfil oceanográfico San José – islas Lobos de Afuera, 2016

En la Tabla 7 se observa la concentración de silicatos en el 2016. En la figura 26 se observan las concentraciones de silicatos detectadas en cada una de las prospecciones efectuadas en el 2016 y que se explican en la Tabla 7.

El análisis de la concentración espacio – temporal de los silicatos a distintas profundidades a 50 mn de la costa y al oeste de las islas Lobos de Afuera, demostró que su concentración estuvo condicionada al tipo de masa de agua predominante, es así que las menores

concentraciones superficiales de este nutriente se encontraron en los meses de octubre y noviembre con concentraciones menores a  $3 \mu\text{M}$  entre 20 y 50 m de profundidad (Fig. 27). En el primer semestre del año las ASS pobres en nutrientes deprimieron las isóneas de concentración sensiblemente, la isónea de  $10 \mu\text{M}$  que en marzo se encontró sobre 50 m de profundidad, en julio sobrepasó 100 m de profundidad, y la concentración de los silicatos comenzó a incrementar durante el segundo semestre hasta hacerse máxima en septiembre bajo 40 m de profundidad.

Las mayores concentraciones se observaron en noviembre cuando empiezan a extenderse desde la costa altas concentraciones de silicatos hasta superar 45  $\mu\text{M}$  a 2 mn de la costa, relacionados a zonas de afloramiento (Fig. 28).

Cerca al fondo los silicatos presentaron zonas con valores superiores a 20  $\mu\text{M}$  que se proyectan desde la costa hacia mar afuera en los meses de octubre y noviembre (Fig. 29). En las prospecciones realizadas entre abril y septiembre cuando los niveles de oxígeno sobre el fondo fueron relativamente altos, se reportaron niveles de silicatos bajos.

El 2016 los nitratos alcanzaron concentraciones superficiales promedio entre 2,32  $\mu\text{M}$  (noviembre) y 16,58  $\mu\text{M}$  (julio) a diferencia de lo observado el año 2015 cuando se presentaron valores entre 0,31  $\mu\text{M}$  (marzo) y 14,56  $\mu\text{M}$  (octubre). En la prospección de octubre se encontró a 45 mn de la costa la concentración más baja del año (0,12  $\mu\text{M}$ ), las mayores concentraciones fueron encontradas en julio, mes durante el cual se alcanzó concentraciones superiores a 20,0  $\mu\text{M}$  entre 20 y 40 mn de la costa (estaciones 3 y 5) (Tabla 8), relacionada a la presencia de las ASS con influencia de las AES muy cerca de la costa, pero esta vez relacionado a concentraciones relativamente bajas de oxígeno disuelto en superficie (< 3 mL/L).

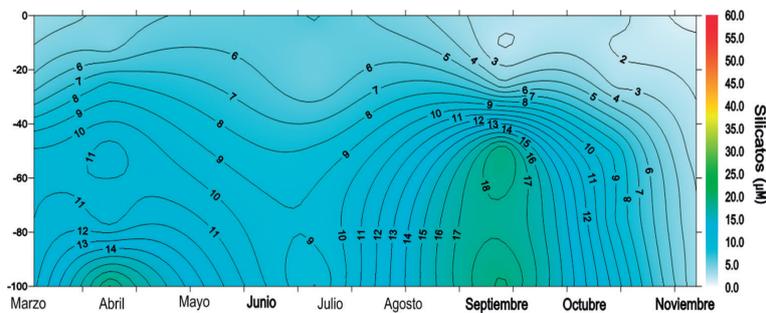


Figura 27.- Distribución de silicatos ( $\mu\text{M}$ ) en la estación 7 (50 mn de la costa). Perfil oceanográfico San José – islas Lobos de Afuera. 2016

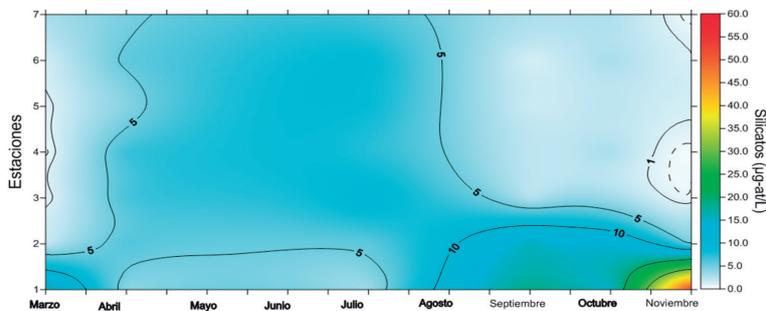


Figura 28.- Distribución superficial de la concentración de silicatos ( $\mu\text{M}$ ). Perfil oceanográfico San José – islas Lobos de Afuera. 2016

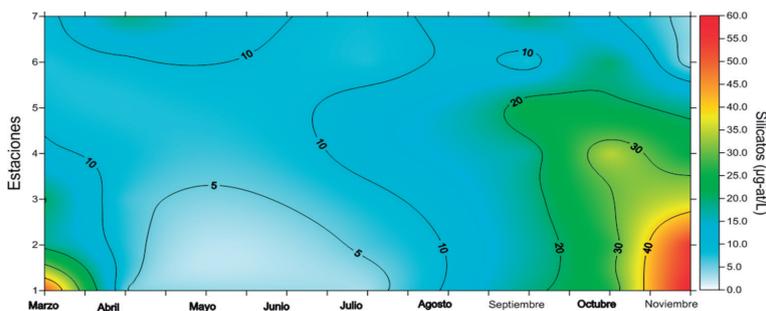


Figura 29.- Distribución de concentración de silicatos cerca del fondo ( $\mu\text{M}$ ). Perfil oceanográfico San José – islas Lobos de Afuera. 2016

Tabla 8.- Concentración de nitratos ( $\mu\text{M}$ ) en superficie por estación. Perfiles oceanográficos, 2016

Mes	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est 6	Est 7	Promedio
Marzo	0,60	2,80	4,24	2,42	0,31	1,56	5,44	2,48
Abril	3,15	14,22	18,27	12,46	6,16	14,52	10,34	11,30
Julio	7,33	14,31	21,22	16,66	20,95	19,14	16,46	16,58
Septiembre	19,41	19,41	12,04	18,58	9,52	6,80	9,76	13,64
Octubre	5,09	11,14	0,71	0,26	0,47	0,12	2,19	2,85
Noviembre	0,44	1,13	2,19	0,90	1,48	4,34	5,79	2,32

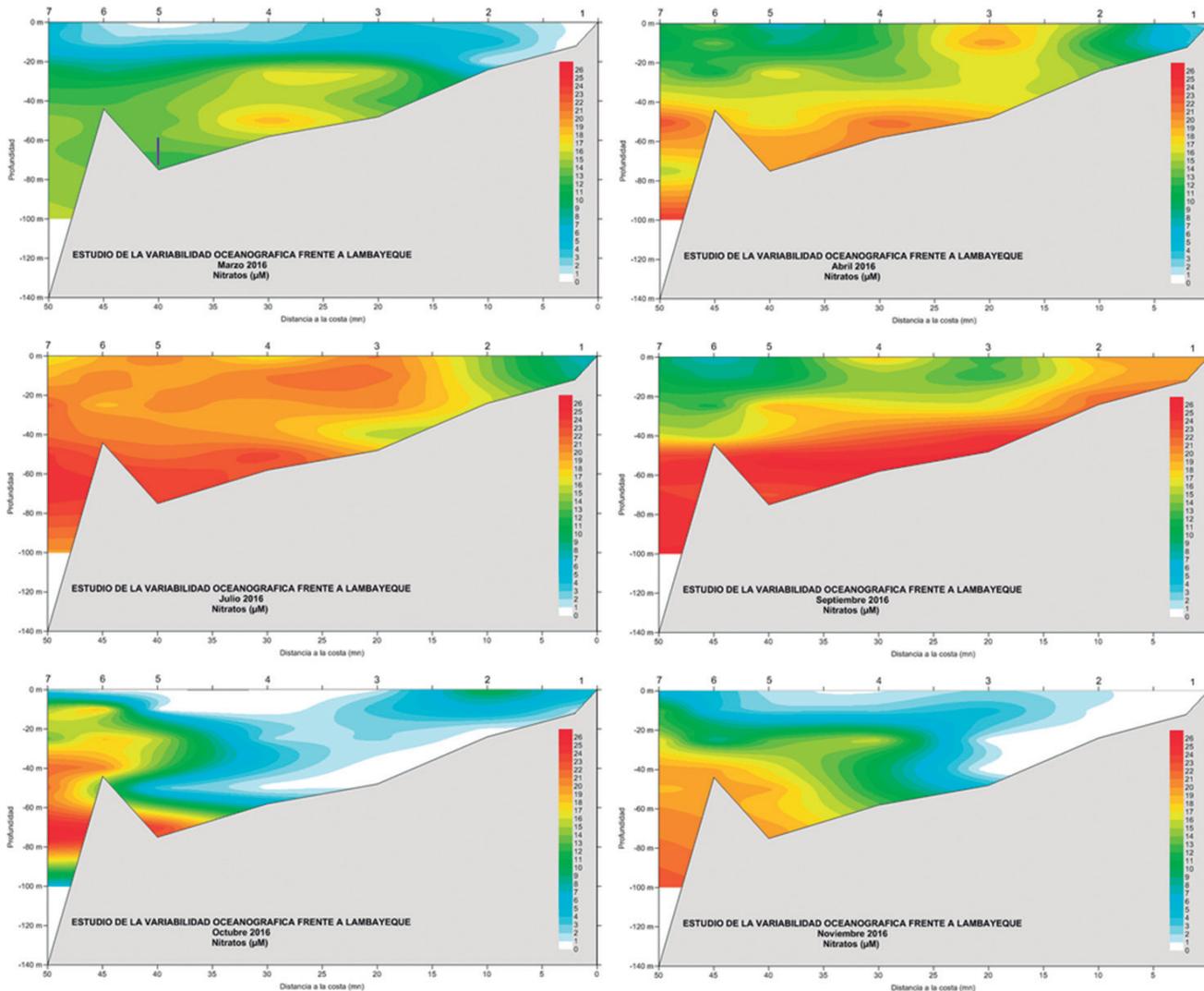


Figura 30.- Distribución de concentración de nitratos ( $\mu\text{M}$ ). Perfil oceanográfico San José – islas Lobos de Afuera, 2016

En marzo el avance de aguas cálidas llevó a la costa aguas con bajas concentraciones de nutrientes, en forma más evidente en la capa superficial de 20 m, por debajo de la cual se encontraron concentraciones que variaron entre 13 y 20  $\mu\text{M}$ ; en octubre y noviembre los niveles de nitratos cerca del fondo disminuyendo hasta llegar a 0  $\mu\text{M}$ , las condiciones hipóxicas que predominaron cerca del fondo contribuyeron a su reducción a nitritos (Fig. 30).

Al oeste de las Lobos de Afuera, a distintas profundidades y a 50 mn de la costa se registró alta disponibilidad del nutriente, las mayores concentraciones se encontraron en julio, septiembre y octubre al superar 24  $\mu\text{M}$  a los 60 m de profundidad; superficialmente en julio alcanzaron valores superiores a 16  $\mu\text{M}$  relacionados con bajos niveles de oxígeno disuelto. La baja concentración superficial en octubre estuvo relacionada con el oxígeno disuelto y volúmenes altos de

fitoplancton; mientras que en noviembre pudo estar más relacionada al ingreso de masas de aguas oceánicas pobres, lo que es habitual a esa distancia de la costa en esa época del año (Fig. 31).

Los nitratos presentaron altas concentraciones entre abril y setiembre coincidiendo con valores relativamente bajos de pH y oxígeno superficial, en un ámbito con predominio de masas de ASS+AES. La concentración superficial de los nitratos declinó a partir de setiembre hasta llegar a niveles limitantes en octubre y noviembre (Fig. 32).

Cerca del fondo la concentración de nitratos presentó distribución que correspondió a lo

observado en superficie; las mayores concentraciones estuvieron relacionadas a fondos oxigenados, incluso a mayores profundidades en las zonas más alejadas de la costa, solo durante marzo pareció cambiar el patrón al encontrarse valores muy bajos a lo largo del perfil en zonas someras y cercanas a la costa, que presentaron a la vez tenores de oxígeno cercanos a la anoxia cerca del fondo sobre sedimentos fango-limoso al igual que sobre fondos relativamente oxigenados a 100 m de profundidad, situación diferente se presentó entre octubre y noviembre cuando sobre el fondo se observaron concentraciones escasas de este nutriente relacionado a condiciones hipóxicas en el área (Fig. 33).

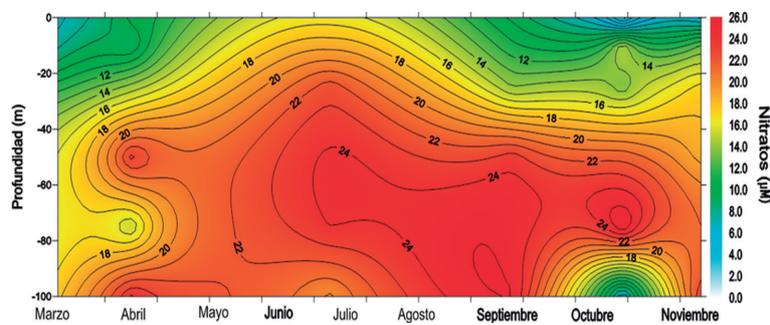


Figura 31.- Distribución de nitratos ( $\mu\text{M}$ ) en la estación 7 (50 mn de la costa). Perfil oceanográfico San José – islas Lobos de Afuera. 2016

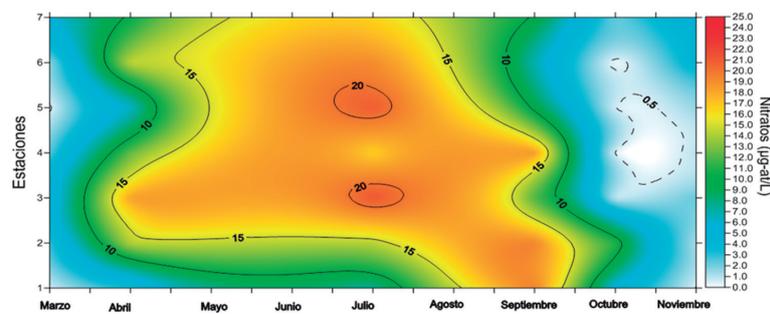


Figura 32.- Distribución superficial de nitratos ( $\mu\text{M}$ ). Perfil oceanográfico San José – islas Lobos de Afuera. 2016

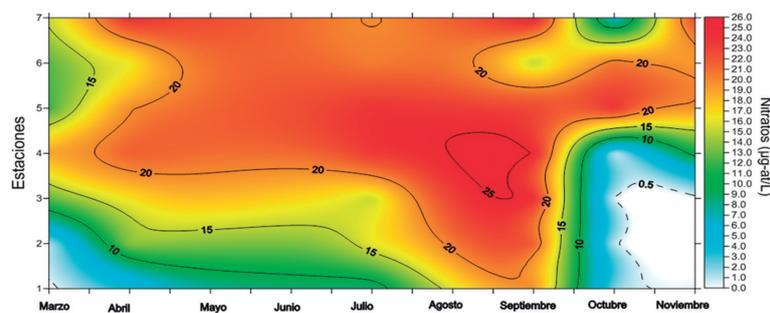


Figura 33.- Distribución espacio temporal cerca del fondo de concentración de nitratos ( $\mu\text{M}$ ). Perfil oceanográfico San José – islas Lobos de Afuera. 2016

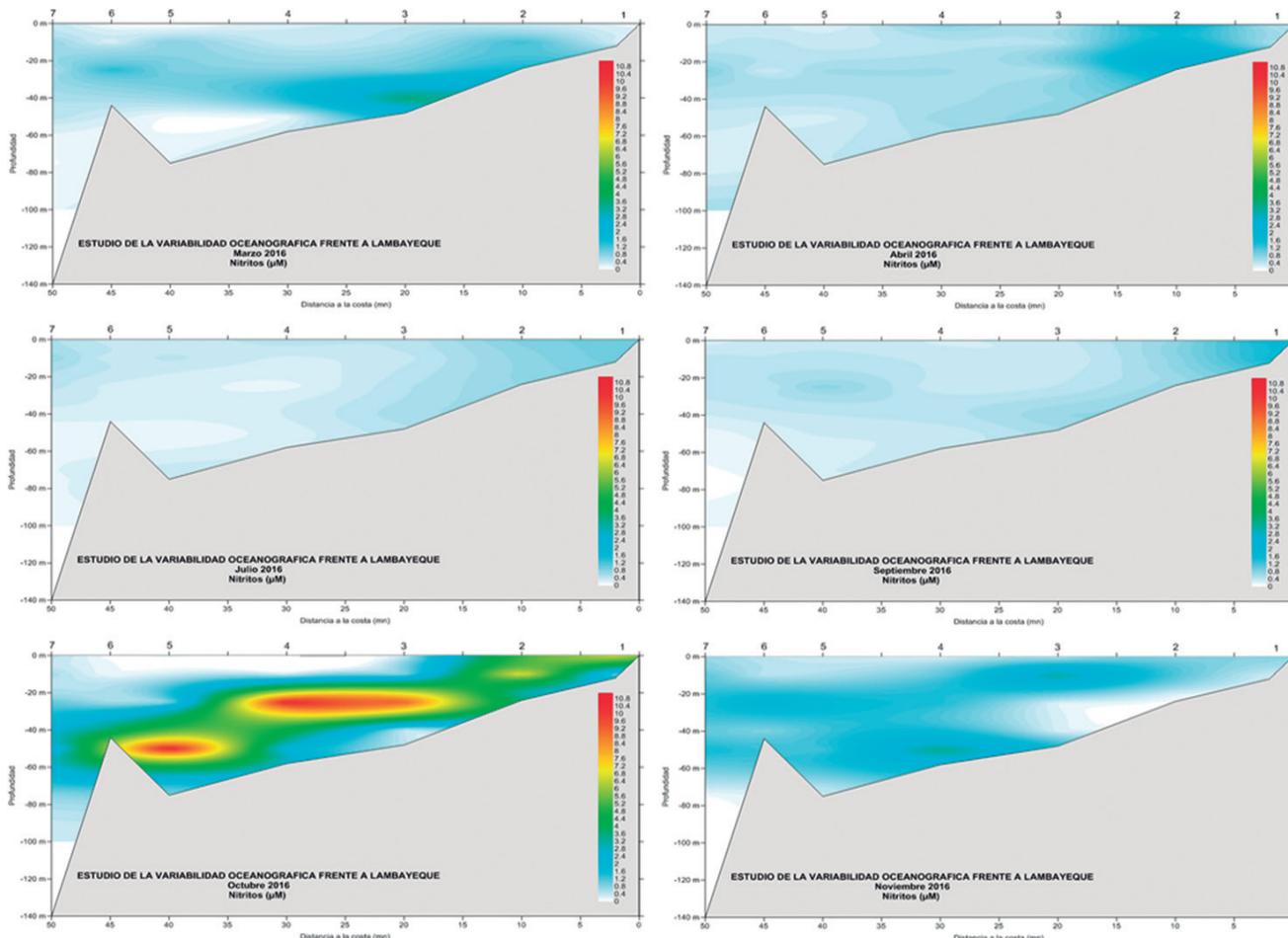


Figura 34.- Distribución de nitritos ( $\mu\text{M}$ ). Perfil oceanográfico San José – islas Lobos de Afuera, 2016

Tabla 9.- Concentración de nitritos ( $\mu\text{M}$ ) en superficie. Perfiles oceanográficos, 2016

Mes	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est 6	Est 7	Promedio
Marzo	0,17	0,34	0,37	0,28	0,04	0,03	0,39	0,23
Abril	0,51	1,83	0,49	0,79	0,18	0,39	0,40	0,66
Julio	0,94	0,85	0,42	0,48	0,32	0,36	0,52	0,56
Septiembre	1,56	0,72	0,36	0,28	0,38	0,35	0,24	0,56
Octubre	6,59	5,23	0,30	0,04	0,15	0,03	0,47	1,83
Noviembre	0,82	0,79	0,48	0,24	0,37	0,40	0,69	0,54

La concentración superficial de nitritos en promedio varió entre 0,23 y 1,85  $\mu\text{M}$  en marzo y octubre, valores superiores a los encontrados durante las prospecciones realizadas en el 2015 (CASTRO *et al.* 2016) cuando se registraron promedios entre 0,01  $\mu\text{M}$  (marzo) y 0,71  $\mu\text{M}$  (junio). En marzo se reportó la concentración superficial más baja (0,03  $\mu\text{M}$ ) (Est. 6) (Tabla 9).

La concentración de nitritos presentó relación con menores concentraciones de oxígeno, la mayor concentración fue encontrada cerca del fondo en octubre en zonas con valores de oxígeno menores a 0,5 mL/L (Fig. 34).

A 50 mn de la costa las concentraciones fueron inferiores a las encontradas cerca de la costa, concentraciones entre 0,1 y 0,5  $\mu\text{M}$  predominaron en la sección durante la mayor parte del año a excepción de octubre cuando alcanzaron hasta 1,8  $\mu\text{M}$  limitada en su parte superior por la isolínea de 18 °C. Es también interesante destacar que durante la prospección de marzo del 2015 se presentó un núcleo con concentraciones mayores a 3,0  $\mu\text{M}$  entre 20 y 40 m de profundidad limitada en su parte superior por la isoterma de 18 °C (Fig. 35).

La concentración superficial de nitritos en el 2016, estuvo condicionada a los procesos biogeoquímicos de regeneración del nitrógeno y las menores concentraciones se encontraron en el periodo de predominancia de las ASS+AES las que llevaron al fondo aguas más oxigenadas; diferente a lo que se observó en la segunda mitad del año cuando las concentraciones de nitritos en superficie se vieron incrementados cerca de la costa, coincidiendo con aguas subsuperficiales hipóxicas e incluso anóxicas en septiembre, octubre e incluso noviembre, con el predominio de las ACF y con procesos de afloramiento activos que llevaron a estas aguas, enriquecidas por nitritos, hacia la superficie (Fig. 36).

Cerca del fondo la concentración de nitritos también evidenció relación inversa con la del oxígeno disuelto, al igual que en superficie, excepto en noviembre, cuando se encontraron sobre fondos someros cercanos a la costa valores bajos de nitritos en condiciones de hipoxia. Valores superiores a  $0,5 \mu\text{M}$  predominaron cerca del fondo sobre los 50 m de profundidad.

Un núcleo con concentración superior a  $3 \mu\text{M}$  se encontró en marzo a 20 mn de la costa y a más de 40 m de profundidad y otro en octubre a 45 mn de la costa y 45 m de profundidad con concentraciones de oxígeno menores a  $0,5 \text{ mL/L}$  (Fig. 37), sobre sedimentos que variaron entre fango-limoso y arena gruesa cerca de las islas.

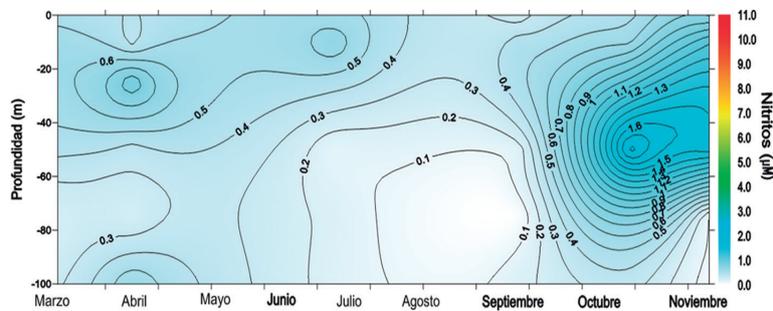


Figura 35.- Distribución de nitritos ( $\mu\text{M}$ ) en estación 7 (50 mn de la costa). Perfil oceanográfico San José – islas Lobos de Afuera. 2016

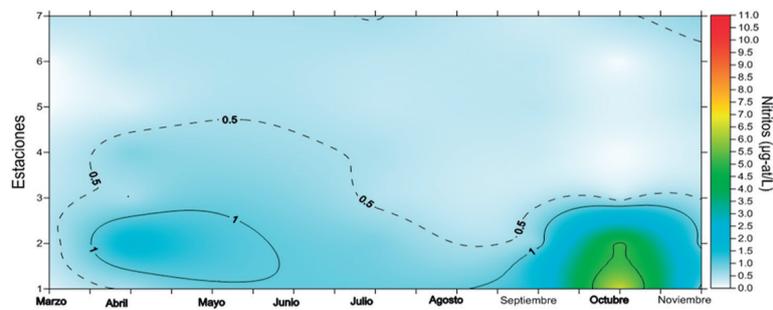


Figura 36.- Distribución superficial de nitritos ( $\mu\text{M}$ ). Perfil oceanográfico San José – Is Lobos de Afuera. 2016

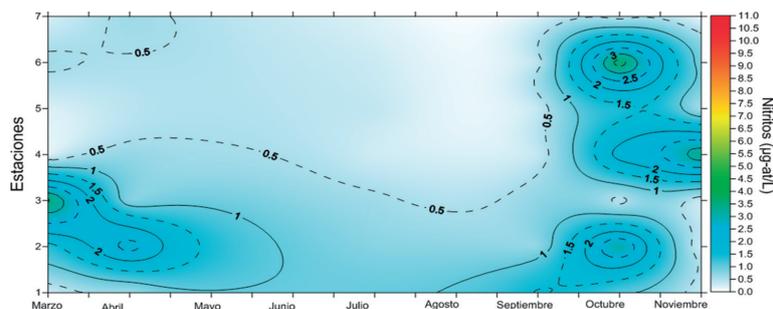


Figura 37.- Distribución de concentración de nitritos ( $\mu\text{M}$ ) cerca del fondo. Perfil oceanográfico San José – islas Lobos de Afuera. 2016

### AFLORAMIENTO COSTERO

Aunque las prospecciones se realizaron entre marzo y noviembre, se pudo observar que entre marzo y julio el afloramiento costero se manifestó muy debilitado, al encontrarse escaso y restringido a zonas muy cercanas a la costa. Las diatomeas indicadoras de sucesiones primarias o de afloramiento como *Chaetoceros lorenzianus* G., *C. curvisteus* C. y *C. debilis* C. se presentaron de manera abundante y extendida señalando el afloramiento costero en setiembre y octubre, decayendo en noviembre, sin alcanzar la intensidad y amplitud de años anteriores. Las aguas costeras frías (ACF) se encontraron muy restringidas a la franja costera durante la primera mitad del año, recién en la segunda mitad comenzó a intensificarse, alcanzando máxima expansión en octubre; durante la primera mitad del año las ACF interactuaron activamente con las ASS y las AES en forma variable, como lo indica la presencia de *Onychocorycaeus catus* (D.) (= *Corycaeus catus*) especie zooplanctonica relacionada a esta última masa de agua.

### PLANCTON

#### Fitoplancton

Los volúmenes de plancton se presentaron muy variables a través del tiempo y se vieron influenciados por la distancia a la costa, fluctuando

entre 0,030 y 4,51 mL.m<sup>-3</sup>, registrándose el volumen más bajo en julio a 50 mn de la costa (Est. 7), el mayor volumen se encontró en octubre (Est. 3) a 20 mn de la costa (Fig. 38) originada por la abundancia de diatomeas pequeñas, propias de afloramiento costero.

El fitoplancton fue predominante en setiembre, octubre y noviembre, mientras que el zooplancton lo fue en algunas estaciones en marzo, abril y julio, siendo las especies de copépodos, terópodos y eufáusidos, las más abundantes.

Los volúmenes con predominancia fitoplanctónica y superiores a 1,0 mL.m<sup>-3</sup> (considerado como valor indicador de zonas productivas), se registraron entre las estaciones 1 y 4, observándose mayor amplitud de producción primaria entre setiembre y noviembre (Fig. 38).

#### Composición, frecuencia y riqueza de especies

Se registraron 83 especies en el fitoplancton, de las cuales 51 correspondieron a diatomeas, 30 dinoflagelados y 2 a silicoflagelados; las diatomeas superaron en número a dinoflagelados y silicoflagelados en el 67% de las estaciones muestreadas. La mayor cantidad de diatomeas (22) se encontró en la prospección de setiembre en la estación 4 y la mayor cantidad de dinoflagelados (17) en la estación 7 (Fig. 39).

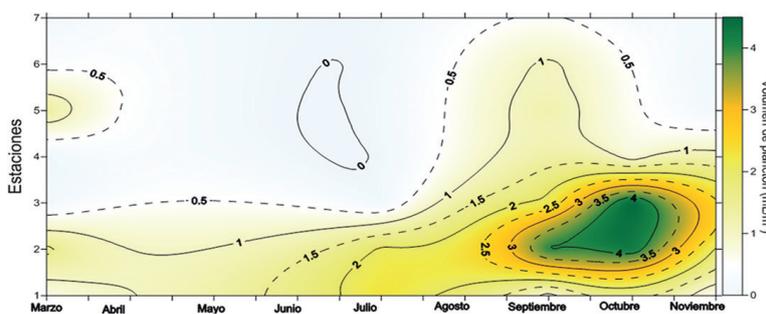


Figura 38.- Distribución del volumen de plancton, perfil oceanográfico San José - islas Lobos de Afuera. 2016

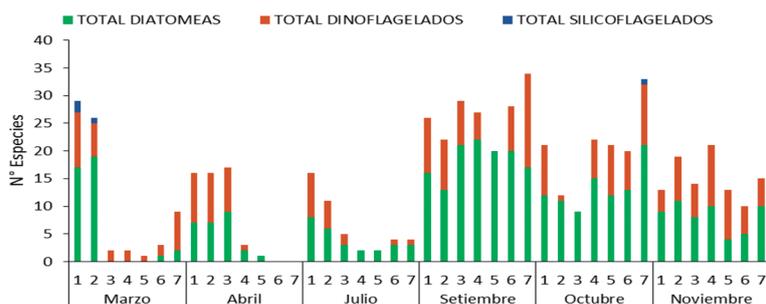


Figura 39.- Distribución del número de especie por grupo taxonómico. Perfil Oceanográfico San José - islas Lobos de Afuera, 2016

Destacó por mayor frecuencia la diatomea *Coscinodiscus perforatus* C. & M. con 27 registros, seguido del dinoflagelado *Protoperidinium depressum* B. con 24 apariciones y las diatomeas de afloramiento *Chaetoceros lorenzianus* y *Thalassionema nitzschioides* M. con 23 y 21 apariciones, respectivamente.

Las especies que alcanzaron la categorías de muy abundantes fueron: la diatomea nerítica *Coscinodiscus perforatus* que se presentó como muy abundante en las zonas costeras (hasta 20 mn de la costa). Además las especies registradas como abundantes fueron las diatomeas de afloramiento *Chaetoceros lorenzianus* y *C. curvisetus* concentradas entre las estaciones 3 y 5 (entre 20 y 40 mn de la costa).

### Indicadores biológicos, especies termófilas, especies potencialmente nocivas

Las diatomeas *Chaetoceros lorenzianus*, *C. curvisetus* y *C. debilis* señalaron continuo e intenso afloramiento costero en los últimos meses del 2016.

Se registraron dinoflagelados con distribución cosmopolita como *Protoperidinium depressum* B., *P. conicum* B., *Archaeperidinium minutum* (K.) (= *P. minutum*), *P. pentagonum* (G.), *Ceratium tripos* N., *Tripos buceros* (Z.) (= *C. buceros*), *C. fusus* var. *fuscus* (E.) entre otros (Anexo).

El dinoflagelado *Protoperidinium obtusum* (K.), indicador de Aguas Costeras Frías (ACF), presentó distribución muy variada, en setiembre fue en casi toda el área y en marzo, abril, julio y noviembre en zonas muy costeras.

*Planktoniella sol* S., especie termófila, se presentó en noviembre fuera de las 45 mn de la costa, a la misma distancia pero en marzo fue registrada *Proboscia alata* var. *alata* (B.). Los dinoflagelados termófilos que se registraron en setiembre y marzo fueron *Ceratium candelabrum* (E.), *C. masiliense* (G.) y *Goniodoma polyedricum* (P.).

Se registraron esporádicamente especies catalogadas como potencialmente tóxicas como los dinoflagelados *Dinophysis caudata* S.K. y *D. tripos* G., se presentó además la diatomea *Pseudo-nitzschia* spp. (Grupo *seriata*), llegando

a ser abundante en las estaciones 1 (2 mn de la costa) y 2 (10 mn) durante marzo y octubre, respectivamente.

### Estacionalidad biológica

El dinoflagelado *Protoperidinium obtusum* (OCHOA *et al.* 1997) confirmó la presencia de las ACF en setiembre en toda el área estudiada, en la mayoría de los meses se registró en las zonas. La presencia de especies termófilas en setiembre y marzo sugieren aproximación de las AES originando Aguas de Mezcla (ACF+ASS+AES).

En el segundo semestre del año, la presencia de organismos de sucesiones primarias planctónicas señaló reactivación y persistencia del afloramiento costero.

### ZOOPLANCTON

El volumen promedio de zooplancton durante el 2016 fluctuó entre 4,85 mL.100 m<sup>-3</sup> (noviembre) y 60,77 mL.100 m<sup>-3</sup> (marzo). Este promedio, en su mayoría, fue menor a 10 mL.100 m<sup>-3</sup> con excepción de lo observado en setiembre y marzo. La media obtenida en marzo (303,37 mL.100 m<sup>-3</sup>) se debió al volumen detectado a 40 mn (Estación 5) ante la abundancia de eufáusidos y del copépodo *Calanus chilensis* B.

Comparando los resultados obtenidos con lo registrado el 2015, se nota disminución del volumen promedio, en particular durante el invierno y primavera (Fig. 40). No se observó algún patrón de la concentración de zooplancton con respecto a la distancia de la costa.

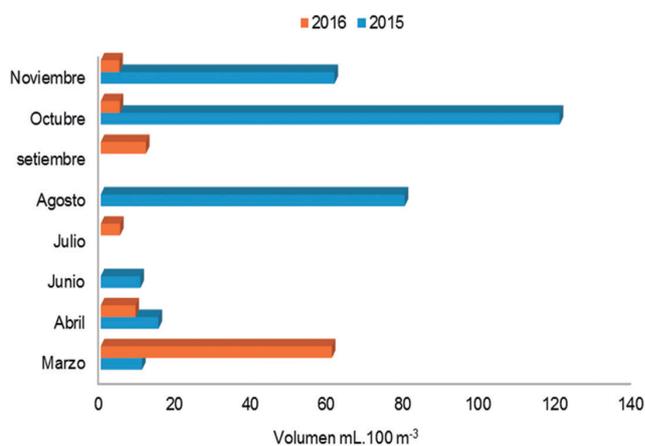


Figura 40.- Variación de los volúmenes de zooplancton durante el periodo 2015-2016

### Composición específica y diversidad

Durante el 2016 el zooplancton estuvo representado por 23 grupos taxonómicos (Tabla 10). En julio y setiembre se presentó mayor diversidad (88 y 79 especies, respectivamente) (Fig. 41), que se debió al aporte del grupo Copépoda, que durante esos dos meses presentó diversidad de especies.

Durante marzo, abril, julio y setiembre en la comunidad zooplanctónica se observaron tanto especies neríticas de aguas frías como *Acartia tonsa* D., *Paracalanus parvus* C. y *Centropages brachiatus* (D.) como especies de distribución más oceánica y/o asociadas a aguas cálidas: *Lucicutia flavicornis* (C.), *Euchaeta rimana* B., *Scolecithrix danae* (L.), *Sagitta regularis* (A.), *Atlanta gaudichaudi* G., *Candacia curta* (D.), entre otras. El mayor número de especies que se detectó en julio se debió a la aparición de especies de distribución más oceánica y asociadas a ASS o AES como *Temora discaudata* G., *Corycaeus catus* D., *Phaenna spinifera* C., *Paraeucalanus attenuatus* (D.), *Euchirella bella* G., entre otros.

### Indicadores biológicos

*Centropages brachiatus* especie indicadora de Aguas Costeras Frías (ACF), fue observada en el período de estudio, su distribución llegó hasta 50 mn en marzo y octubre, en julio estuvo restringida a las 10 mn. *Aetideus bradyi* S. y *Eucalanus inermis* G., especies indicadoras de ACF, se registraron en julio y setiembre entre 20 y 30 mn de distancia a la costa. *E. inermis* en julio estuvo a 30 mn y en noviembre entre 40 y 50 mn.

Las masas de Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) se evidenciaron con presencia de las especies indicadoras: *Mecynocera clausi* T., *Oncaea conifera* G., *Acartia danae* G. y *Calocalanus pavo* (D.), así como especies asociadas a estas masas de agua como *Euchaeta rimana*, *Scolecithrix danae*, *Lucicutia flavicornis*, *Euchirella bella*, *Paraeucalanus attenuatus*, *Phaenna spinifera* entre otras.

*Centropages furcatus* (D.), especie indicadora de Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES), fue observada en marzo entre 20 y 50 mn y en julio entre 30 y 45 mn. *Atlanta gaudichaudi* y *Creseis*

Tabla 10.- Grupos taxonómicos de la comunidad zooplanctónica observados durante el 2016

Taxón	Marzo	Abril	Julio	Setiembre	Octubre	Noviembre
Copepoda	1	1	1	1	1	1
Decapoda	1	1	1	1	1	1
Cirripedia	1	1	1	1	1	1
Siphonophora	1	1	1	1	1	1
Euphausiacea	1	1	1	1	0	1
Chaetognatha	1	1	1	1	0	1
Amphipoda	1	1	1	1	0	1
Bryozoa	1	1	1	1	1	1
Polychaeta	1	1	1	1	0	1
Bivalvia	0	1	1	0	0	0
Gasteropoda	1	1	0	1	1	1
Pteropoda	1	1	1	0	0	0
Heteropoda	1	1	0	0	0	0
Hydromedusae	0	1	1	1	1	1
Apendicularia	1	1	1	1	1	1
Ctenophora	1	1	1	1	1	1
Thaliacea	1	0	1	1	1	0
Mysidacea	0	0	0	1	0	1
Ostracoda	0	1	1	1	0	1
Branchiopoda	0	0	0	0	0	1
Radiolaria	0	1	0	0	0	0
Stomatopoda	1	0	1	1	0	0
Foraminifera	0	1	1	1	1	0
<b>Nº grupos</b>	<b>16</b>	<b>19</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>11</b>	<b>16</b>

Presente = 1  
Ausente = 0

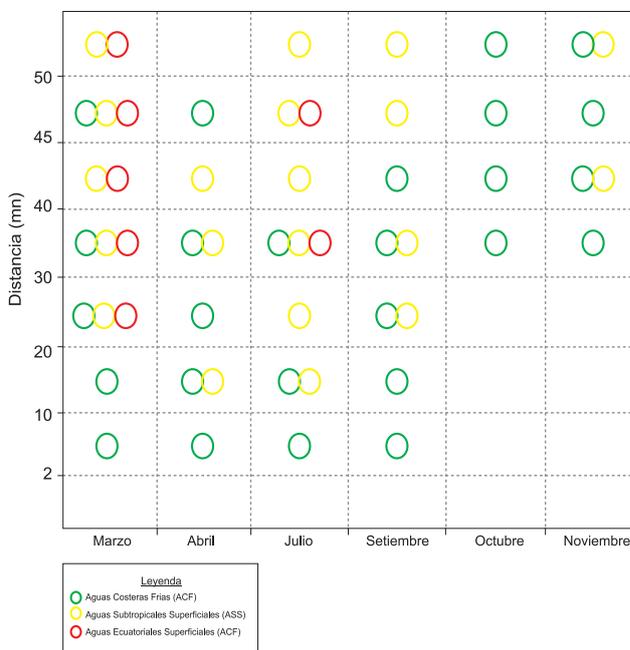


Figura 41.- Indicadores biológicos del zooplancton, marzo – noviembre 2016

*virgula* (R.), moluscos holoplanctónicos, son especies asociadas a aguas de mezcla de ASS-AES que se registraron en marzo (20 y 50 mn), abril (30 y 40 mn) y julio (30 mn).

### Ictioplancton

Los huevos y larvas de anchoveta *Engraulis ringens* J. se distribuyeron y abundaron de distinta manera en cada prospección: en marzo y julio estuvieron restringidos dentro de las 10

mn, en abril y setiembre se localizaron hasta las 30 y 20 mn, respectivamente; en octubre y noviembre su distribución fue más amplia llegando hasta 50 mn (Fig. 42). Las mayores concentraciones de huevos se efectuaron dentro de las 30 mn.

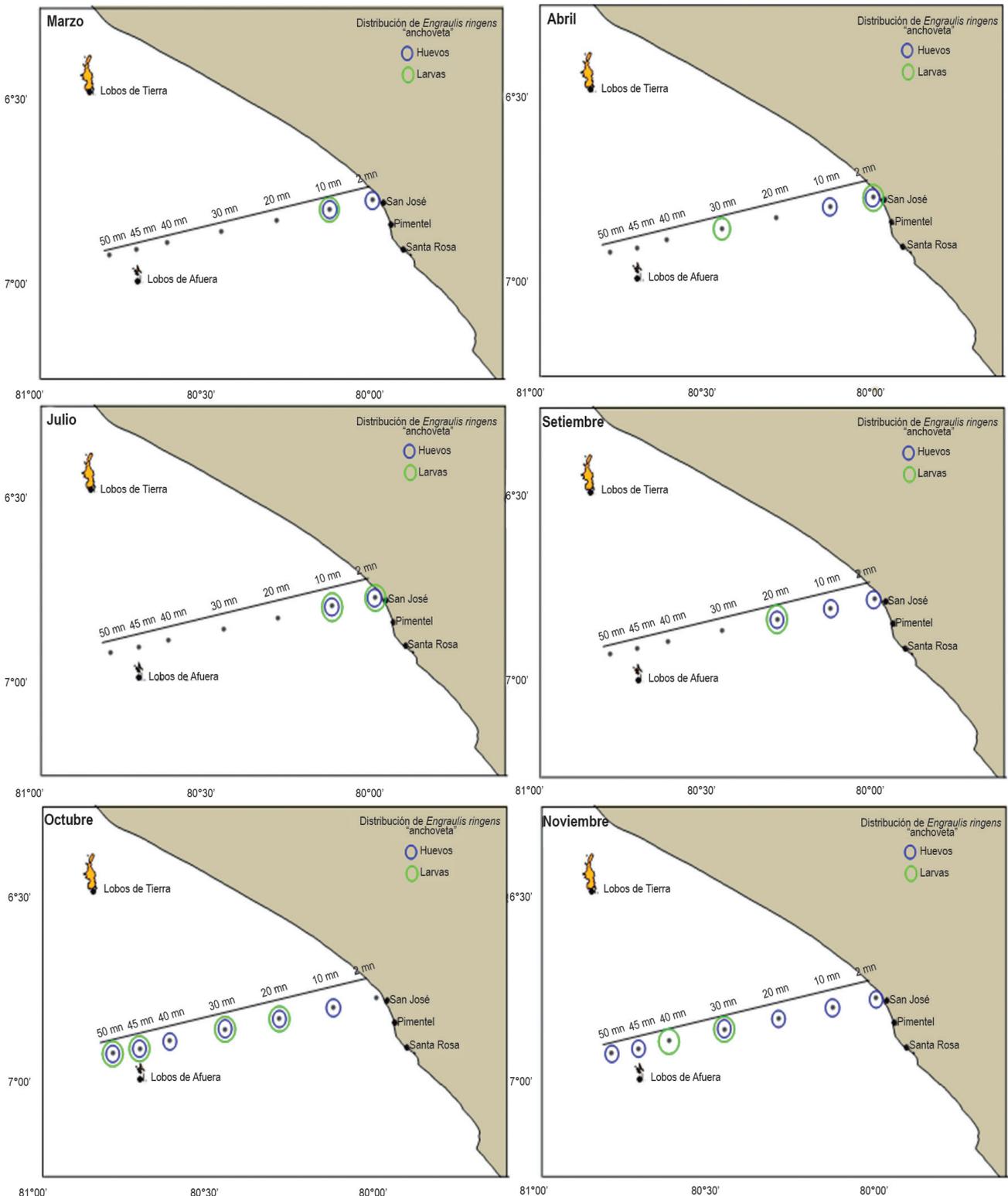


Figura 42.- Distribución de *Engraulis ringens* anchoveta, 2016

En setiembre y octubre también se observaron huevos de *Anchoa nasus* (K. y S.) dentro de las 10 mn.

Huevos y larvas de *Vinciguerria lucetia* (G.) pez luminoso o vinciguerria, fueron observados en abril y julio entre las 30 y 40 mn, la presencia de esta especie mesopelágica es importante debido a su afinidad tropical-subtropical. También se observaron larvas y/o huevos de las familias Labrisomidae, Sciaenidae, Atherinidae y Muraenidae.

#### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

##### Estacionalidad oceanográfica

A diferencia de lo observado el año 2015, el 2016 comenzó con altas temperaturas en enero, propio de un evento El Niño, pero con tendencia sostenida hacia la normalización, estimándose su conclusión entre mayo y junio. El sistema océano-atmosfera del Pacífico oriental, comenzó a presentar el característico patrón de enfriamiento en invierno prolongándose en noviembre y diciembre. Durante el primer trimestre del año, como se observó en la prospección de marzo, las condiciones imperantes cerca de la costa fueron de un típico Evento El Niño, con acumulación de aguas cálidas (AES y ASS) muy cerca de la costa y predominio de masas de aguas con temperaturas superficiales superiores a 24 °C, debido a las continuas ondas Kelvin. Sin embargo, el Anticiclón del Pacífico Sur (APS) generó episodios de intensificación de los vientos de componente sur desde el otoño, contribuyendo a la extrema variabilidad observada durante el otoño-invierno del 2016, el APS mantuvo su fortalecimiento en los meses subsiguientes lo que llevó a la normalización de las condiciones ambientales en el área.

Durante los seis meses del año estudiados se pudo percibir que la extensión sur de la corriente de Cromwell (que se presenta como un proceso a escala estacional marcado en periodos de ENOS neutros) en esta oportunidad se detectó atípicamente fortalecida hasta julio, registrándose valores de oxígeno disuelto sobre 1,5 mL/L a 100 de profundidad, pero a diferencia de lo observado el 2015, valores sobre 4 mL/L solo alcanzaron los 20 m de profundidad y el tope de la ZMO comenzó su ascenso desde el primer trimestre hasta ubicarse sobre la plataforma continental entre los 40 y 25 metros

de profundidad en octubre y noviembre, lo que es concordante con lo esperado para un evento El Niño en declive y que culminó a fines de año.

De esta forma, los resultados obtenidos son concordantes con lo esperado en un Evento El Niño en declive, al presentar a la ESCC con fuertes proyecciones en verano, aunque con claro debilitamiento en julio, sin provocar depresión de la oxiclina durante ese período, mientras que en primavera prácticamente desapareció de acuerdo a lo esperado, situación típica de condiciones neutras e incluso ligeramente frías. 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 esta señal estacional de forzamiento de los vientos se integre 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 corresponden a mayor intensidad de la contracorriente durante otoño/invierno, mientras que condiciones subsuperficiales hipóxicas (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 año.

Por otra parte, la estructura térmica también se vio alterada el 2016 al mantenerse las AES más al sur de sus límites típicos, deprimiendo de esa manera las isotermas en marzo y abril, profundizando la termoclina en marzo. Durante las prospecciones posteriores se observó el ascenso de las isotermas al igual que la termoclina como se evidenció entre julio y noviembre.

Las menores concentraciones de fosfatos, se vieron durante marzo y abril cuando predominaron aguas ecuatoriales y oceánicas muy cerca de la costa, las que también se encontraron en octubre cuando la actividad fitoplanctónica fue muy alta. Las mayores concentraciones en superficie se registraron en setiembre y noviembre muy cerca de la costa como consecuencia del arrastre hacia la superficie por el afloramiento costero; los silicatos estuvieron elevados cerca de la costa en setiembre y noviembre, como consecuencia

de procesos de aportes subsuperficiales, las concentraciones superficiales homogéneas se detectaron entre abril y agosto coincidente con el predominio de aguas cálidas pobres en fitoplancton.

Estudios sobre el rol del silicio como nutriente esencial para el crecimiento de diatomeas revelan relación inversa entre la densidad de diatomeas y la concentración de este nutriente, habiéndose demostrado que algunos sobre crecimientos ("blooms") de diatomeas agotan las concentraciones de sílice hasta alcanzar niveles de deficiencia. Cuando el sobre crecimiento de diatomeas colapsa, a continuación se produce aumento en la concentración del sílice, esto es lo que al parecer ocurrió durante octubre y noviembre al determinarse importantes aportes de sílice desde el fondo hacia la columna de agua, pero en superficie se registraron bajos niveles ante las altas concentraciones de fitoplancton.

Al hablar sobre el comportamiento del afloramiento costero 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 Evento El Niño que se presentó durante el primer semestre del año estuvo acompañado de alteraciones en el régimen de los vientos en la zona, el cual provocó importantes fluctuaciones en la intensidad del afloramiento costero local, situación condicionada por la actividad del Anticiclón del Pacífico Sur el cual al fortalecerse en la segunda mitad del año generó el restablecimiento de condiciones neutras hasta fines de año.

## Estacionalidad biológica

El dinoflagelado *Protoperdinium obtusum* indicador fitoplanctónico de las ACF (OCHOA *et al.* 1997) se presentó en forma muy irregular a lo largo del año, sin embargo en el segundo semestre del año estuvo más abundante, en concordancia con la finalización del evento El Niño; además la presencia de especies termófilas desde marzo hasta septiembre señalaron que las ASS y AES se acercaron hacia la costa, principalmente durante la primera mitad del año, reflejado en la presencia de *Centropages furcatus*, especie indicadora de Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES), que fue observada en marzo, entre 20 y 50 mn, y en julio entre 30 y 45 mn. Asimismo, se encontraron a los moluscos holoplanctónicos *Atlanta gaudichaudi* y *Cresseis virgula*, especies asociadas a aguas de mezcla de ASS+AES en marzo (entre 20-50 mn), abril (entre 30-40 mn) y julio a 30 mn de la costa.

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

La distribución de indicadores zooplanctónicos permitió confirmar la presencia de masas de aguas cálidas (ASS y AES) muy cerca de la costa entre marzo y abril y a estas mismas masas de agua totalmente retraídas en la segunda mitad del año; las ACF se encontraron presentes, aunque no predominantes, en la mayor parte del año interactuando con masas de agua cálida en forma de aguas de mezcla muy cerca de la costa durante el primer semestre del año, por el contrario se les vio muy fortalecidas entre septiembre y noviembre cuando se las registró en casi toda el área.

## REFERENCIAS

- BAKUN A, MENDELSSOHN R. 1989. Alongshore wind stress, 1953-1984: correction, reconciliation and update through 1986. En: 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 – Isla 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.
- 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.
- ENFIELD D. B. 1989. El Niño, Past and Present. Rev. Geophys. 27(1): 159 - 187.
- KRAMER D, M. 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 GUELPEN 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.



