

PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN II

INVESTIGACIONES EN OCEANOGRAFÍA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN II.1

INVESTIGACIONES DE LA DINÁMICA DEL AFLORAMIENTO COSTERO, CICLOS BIOGEOQUÍMICOS Y PALEOCEANOGRAFÍA DE ECOSISTEMAS DE LA CORRIENTE DE HUMBOLDT

OBJETIVO ESPECÍFICO 22

ESTUDIO DE LA DINÁMICA DEL AFLORAMIENTO COSTEROS COMO INDICADOR DE LA PRODUCTIVIDAD EN ÁREAS SELECCIONADAS FRENTE A LA COSTA PERUANA

22.1 VARIABILIDAD DE LOS CAMPOS DE VIENTOS Y DE LOS ÍNDICES DE AFLORAMIENTO COSTERO FRENTE A SAN JUAN Y MORRO SAMA

Análisis de los campos de vientos superficiales

Se procesaron, cada seis horas, los datos horarios del viento geostrófico superficial en San Juan (15° S) y Morro Sama (18° S). Se elaboró la serie gráfica de la variación diaria de este parámetro de enero a diciembre del 2007.

En San Juan la velocidad del viento, presentó una fluctuación de 0,78 m/s (17 enero) a 16,43 m/s (25 agosto), la mayor variación de las velocidades en este lugar se registró de agosto a noviembre, con velocidad promedio anual de 6,97 m/s (Figura 22.1).

En Morro Sama, el viento superficial presentó una fluctuación de 0,66 m/s (8 marzo) a 14,81 m/s (1 noviembre) con velocidad promedio de 6,16 m/s, ligeramente menores a lo registrado en San Juan (Figura 22.2).

Índices de afloramiento costero

Se calcularon en ambas estaciones. Se elaboró la serie gráfica de su variación diaria, de enero a diciembre 2007 (Figuras 22.3 y 22.4).

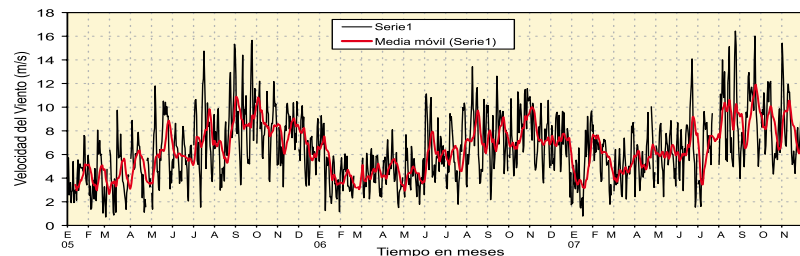


Figura 22.1.- Distribución del Campo de Viento. San Juan 15°S, 77° W. 2005-2007

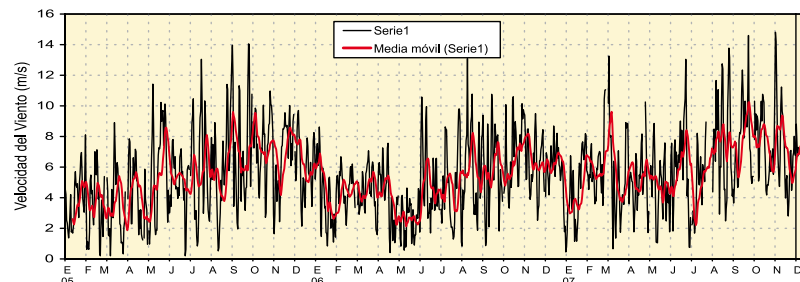


Figura 22.2.- Distribución del Campo de Viento. Morro Sama 18°S, 74° W. 2005-2007

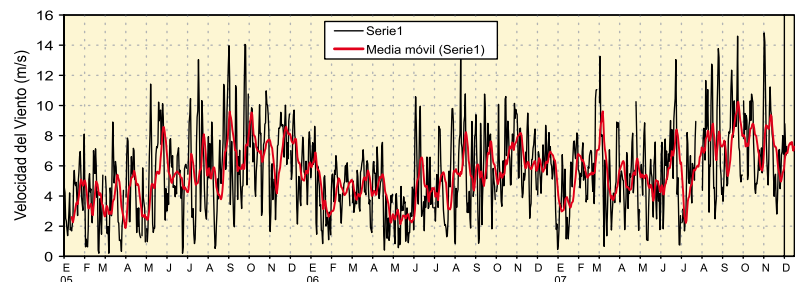


Figura 22.3.- Índice de Afloramiento Costero. San Juan 15°S, 77° W. 2005-2007

Frente a San Juan, presentó una fluctuación de $-11,73 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 100 \text{ m}$ (17 enero) a $1393 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 100 \text{ m}$ (25 agosto), con un promedio anual de $233,74 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 100 \text{ m}$. En

Morro Sama presentó una variación absoluta de $0,375 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 100 \text{ m}$ (11 mayo) a $904,5 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 100 \text{ m}$ (1 noviembre) con promedio anual de $149,638 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 100 \text{ m}$.

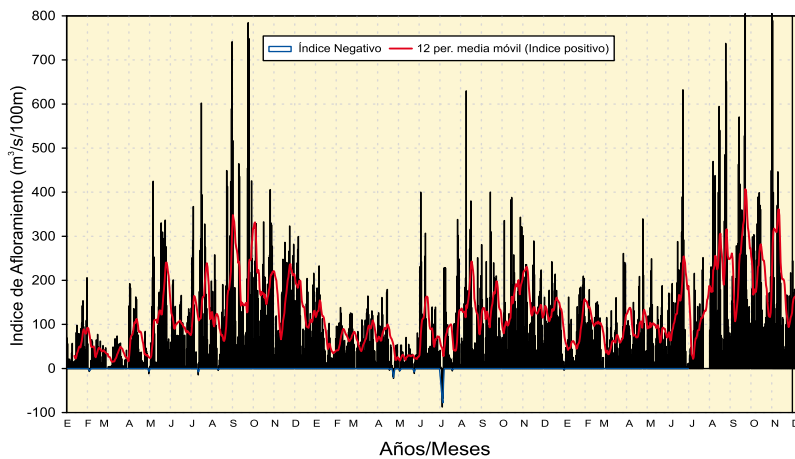


Figura 22.4.- Índice de Afloramiento Costero en Morro Sama. 2005-2007

22.2 DINÁMICA DEL AFLORAMIENTO COSTERO FRENTE A SAN JUAN

Para el estudio de la dinámica del afloramiento costero frente a San Juan, se ejecutaron tres Operaciones, hasta 60 mn de la costa. Se realizaron observaciones hidrofísicas y biológicas, para evaluar la variabilidad del afloramiento en tres estaciones del año: otoño (14 - 17 abril), invierno (7 - 12 julio) y primavera (7 - 12 noviembre). Se utilizó la LIC IMARPE IV del IMARPE sede Ilo. Se realizaron 26 estaciones oceanográficas con toma de datos de temperatura, salinidad y oxígeno. Siete estaciones fueron hidrográficas hasta las 70 mn con rumbo de 240° perpendicular al Puerto de San Juan (Figura 22.5).

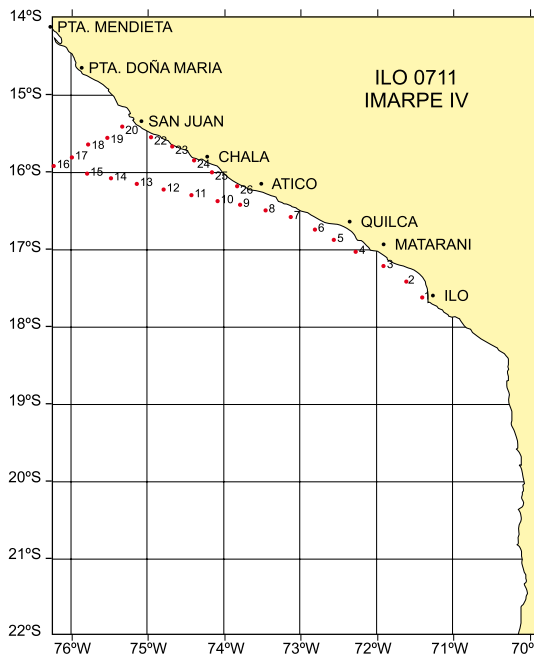


Figura 22.5.- Estaciones oceanográficas en el estudio del afloramiento costero frente a San Juan. 2007.

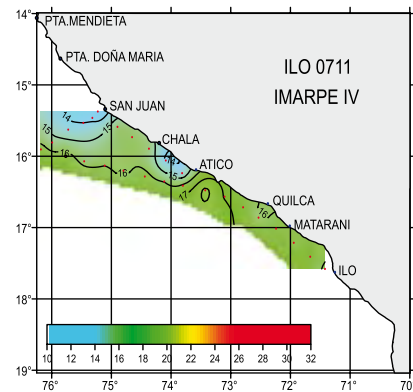


Figura 22.6.- Distribución de la temperatura superficial del mar TSM (°C).

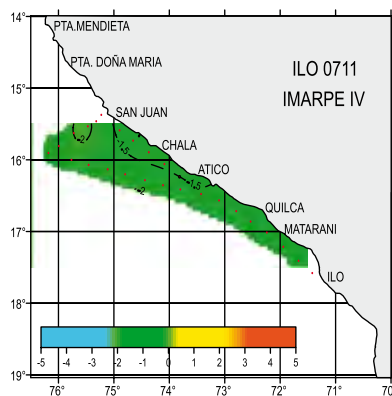


Figura 22.7.- Carta de anomalías térmicas ATSM (°C).

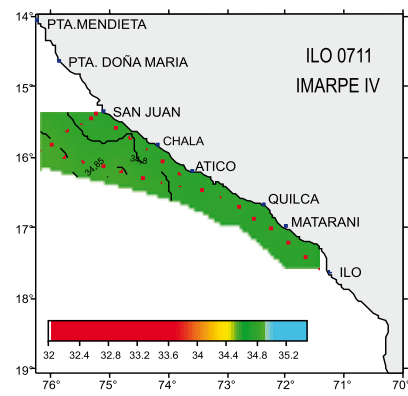


Figura 22.8.- Distribución de la salinidad superficial del mar SSM (ups).

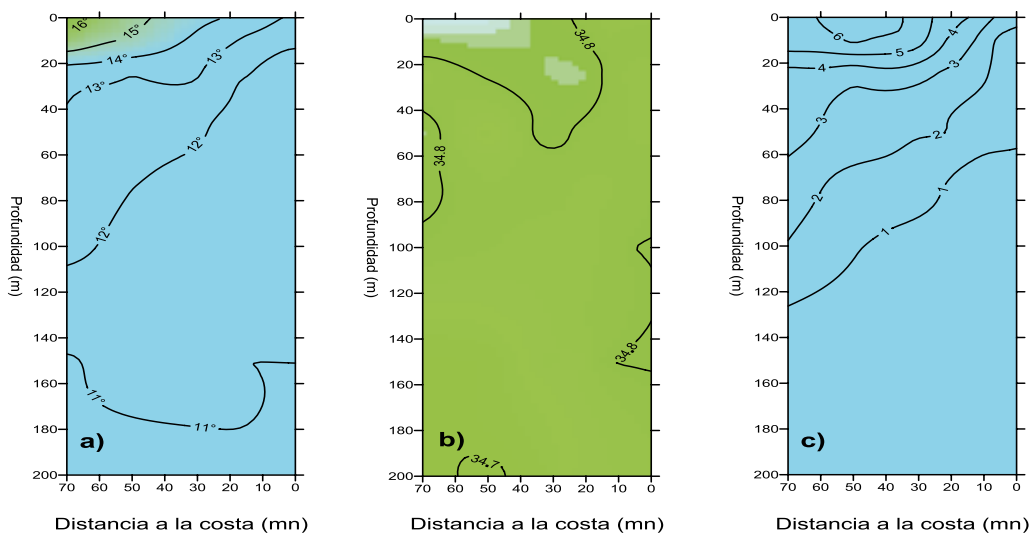


Figura 22.9 Distribución vertical de: a) temperatura ($^{\circ}\text{C}$), b) salinidad (ups.) y c) oxígeno (mL/L). L/P IMARPE IV del 07 - 12 noviembre del 2007

TSM.-La temperatura superficial del mar TSM ($^{\circ}\text{C}$), Figura 22.6, varió de 13°C a $18,3^{\circ}\text{C}$ a 4 mn y 30 mn de San Juan y Atico.

Isotermas.- Las isotermas de 14°C y 15°C , señal de la ocurrencia de procesos de afloramiento tuvo distribución más amplia hasta las 50 mn frente a San Juan y más angosta hasta las 18 mn de Atico a Chala. La isoterma de 16°C tuvo una distribución casi paralela a la costa además de formar un pequeño núcleo frente a Atico (Figura 22.6).

ATSM.- Las anomalías térmicas (Figura 22.7) obtenidas en base al promedio patrón de Zuta y Urquizo (1972) para el mes de noviembre variaron de $-2,13^{\circ}\text{C}$ a $-0,75^{\circ}\text{C}$, lo que muestra que el escenario oceanográfico del área evaluada fue de condiciones frías debido a los procesos de afloramiento de aguas templadas de la subantártica (ATSA).

Isohalinas.- Las isotermas de 14°C , 15°C y 16°C estuvieron asociadas

a las isohalinas de 34,8 a 34,085 ups (Figura 22.8) que podría indicar la influencia de ATSA. Es de resaltar la intromisión frente a Atico de temperaturas mayores a 16°C de aguas oceánicas, favorecida por la disminución de los tenores de viento entre 2 y 4 m/s .

Oxígeno disuelto.- Asimismo los valores de oxígeno del nivel superficial variaron de 2,68 a $6,71\text{ mL/L}$ notándose frente a Chala y San Juan zonas principalmente de afloramiento con isoxígenas de 4 mL/L .

Distribución subsuperficial de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto.- La distribución vertical de estos valores frente a San Juan se caracterizó por la ocurrencia de procesos de afloramiento con temperaturas de 13°C a 16°C desde la zona costera hasta las 70 mn, en una capa promedio por encima de los 40 m, ligadas a valores salinos de alrededor 34,8 ups y valores de oxígeno de 4 a 6 mL/L .

La variación de estos tres parámetros oceanográficos estuvo influenciada por la presencia de las ATSA (Figura 22.9).

En resumen, durante el 2007, la TSM varió de 13 a $16,9^{\circ}\text{C}$; la SSM de 34,727 a 34,822 ups; el Oxígeno disuelto, de 2,68 a $6,71\text{ mL/L}$; la ATSM de $-2,13$ a $-0,75^{\circ}\text{C}$. Todo esto muestra un escenario oceanográfico con condiciones frías, debido a los intensos procesos de afloramiento que ocurrieron favorecidos por los vientos alisios del SE.

Frente a San Juan ($15^{\circ}21'\text{S}$) los procesos de afloramiento con temperaturas de 13°C a 16°C , se observaron desde las 4 hasta las 72 mn frente a dicho puerto. En el nivel subsuperficial, la temperatura osciló de $10,7^{\circ}$ a $16,40^{\circ}\text{C}$, la salinidad de 34,691 a 34,872 ups, lo que indicaría la presencia de las ATSA en esa zona.

OBJETIVO ESPECÍFICO 23

VARIABILIDAD ESTACIONAL E INTERANUAL DE LOS PARÁMETROS BIO-OCEANOGRÁFICOS EN ÁREAS SELECCIONADAS

Las condiciones frías, relacionadas con desplazamiento hacia el noreste y perturbaciones de anomalías positivas del Anticiclón del Pacífico Sur, dio lugar a un incremento de la intensidad de los vientos alisios del sur, intensificándose con ello el afloramiento costero y ecuatorial, la surgencia de estas aguas proviene de profundidades mayores a las normales (>75 - 100 m), con elevado contenido de nutrientes, baja concentración de oxígeno disuelto y relativas bajas salinidades.

Durante el crucero pelágico 0702-03 las concentraciones de nutrientes en la superficie del mar se catalogaron dentro de lo normal; éstas se fueron incrementando paulatinamente en otoño, y en primavera alcanzaron las mayores concentraciones de los últimos años, aun de los años 1995-96 considerado como un evento La Niña.

23.1 ESTACIÓN FIJA CALLAO

En la Estación Fija Callao durante el año 2007 se registraron condiciones biooceanográficas predominantemente frías. Solamente en el verano se presentaron TSM en un rango ligeramente sobre lo normal. Desde otoño hasta primavera, la zona dentro de las 20 mn, presentó ATSM de alrededor de $-2,0$ °C; predominaron ACF, con salinidad $<35,0$ ups y temperaturas $<16,0$ °C. Para fines de primavera las ATSM disminuyeron a $-1,0$ °C; se mantuvieron las condiciones frías debido a la persistencia del afloramiento costero, lo que se reflejó en las concentraciones elevadas de nutrientes registradas en la columna de agua de

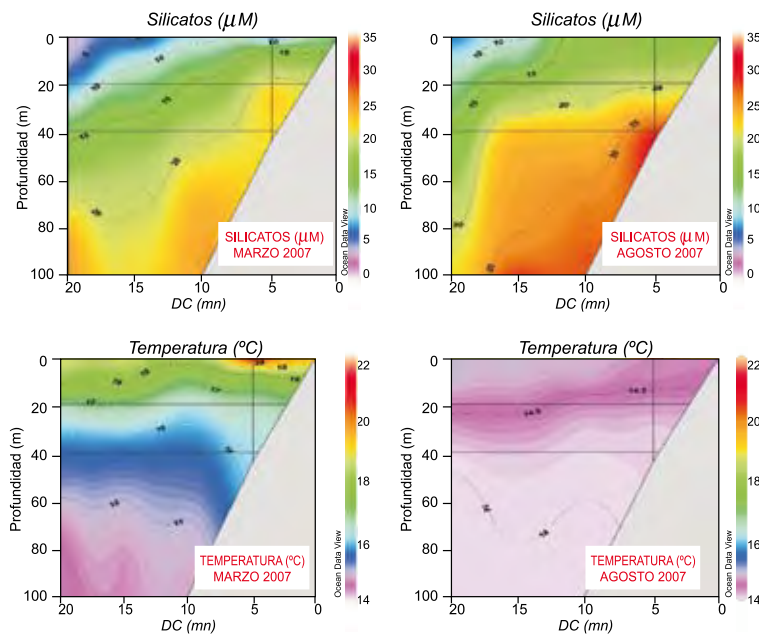


Figura 23.1.- Estación fija Callao. Distribución vertical de la temperatura (°C) y silicatos (µM) en verano (marzo) e invierno (agosto) 2007.

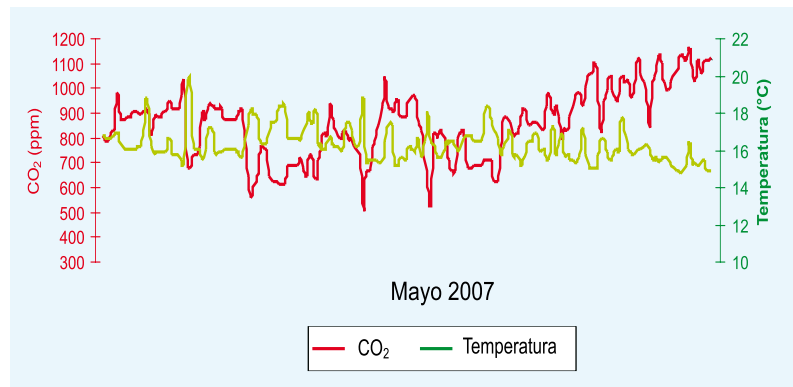


Figura 23.2.- Dióxido de carbono parcialmente disuelto en agua de mar (ppm), Temperatura (°C) versus tiempo. Boya Racón. Mayo 2007.

otoño a primavera: fosfatos hasta $3,0$ µg-at/L, silicatos $25,0$ µg-at/L y nitratos de $20,0$ µg-at/L (Figura 23.1).

La información de la boya Racón muestra que los valores de CO₂ parcial en la superficie del mar (promedio de otoño $763,0$ ppm) son predominantemente mayores al del CO₂ atmosférico

(promedio de otoño $395,2$ ppm), los que indica que en la bahía del Callao existe una importante fuente de CO₂, destacando un mínimo en otoño de $323,4$ ppm de CO₂ parcial y que estuvo asociado a 95,9% de saturación de oxígeno (Figura 23.2).

Las concentraciones de CO₂ muestran una tendencia a in-

crementarse a finales del otoño e inicios del invierno, registrándose en mayo 2007 un valor de 1181,0 ppm, asociado a una temperatura superficial del mar de 15,3 °C, indicando una importante advección de ACF.

En efecto, los resultados preliminares muestran que la intensidad del afloramiento durante el invierno 2007, elevó las concentraciones de CO₂ parcial, que llegó a 1500 ppm (Boya Racón), estimándose para el aire en un valor de 380 ppm (según la NOAA 2002). Por ello el flujo hacia la atmósfera sería significativo, y la zona, una fuente de CO₂ hacia la atmósfera. FRIEDERICH et al. (2006), concluyeron que el flujo promedio de CO₂ del sistema de afloramiento peruano es del océano hacia la atmósfera y que se incrementará en el futuro (Figura 23.3).

23.2 ESTACIÓN FIJA SAN JOSÉ

En la serie mensual de temperatura (°C) y oxígeno (mL/L) en la estación de San José (2004-2007) (Figura 23.4), se puede observar que durante el 2007, la columna de agua presentó un predominio de temperaturas bajas, con isotermas de 16 y 15 °C sobre la capa de los 10 m, y la de 14 °C sobre los 50 m, lo que se asocia con las condiciones frías del período La Niña 2007. Estas condiciones contrastan con las registradas durante el año 2006, durante el cual predominaron condiciones cálidas durante todo el año con una profundización de la isoterma de 15 °C (>60 m). Durante el año 2004 y 2005, la estructura térmica presentó cierta estacionalidad, con temperaturas menores hacia el invierno y la primavera e incrementándose durante los veranos en los cuales se observa una mayor estratificación.

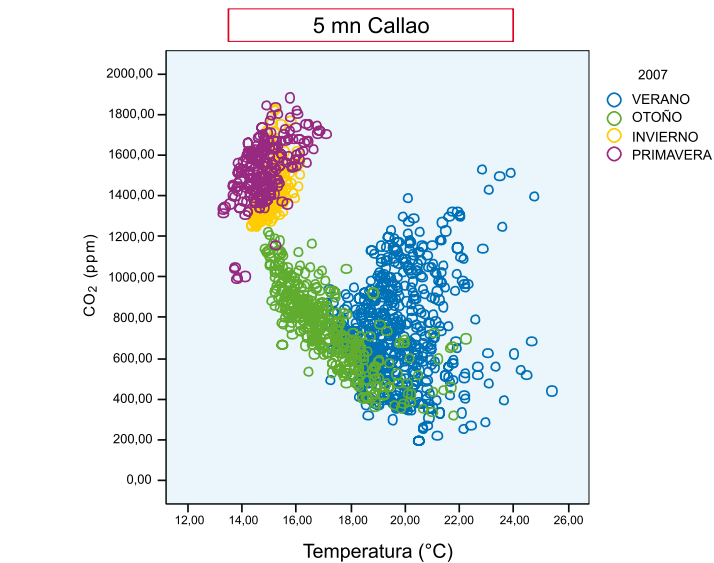


Figura 23.3.- Dióxido de carbono parcialmente disuelto en agua de mar (ppm), Temperatura (°C) según estación del año. Boya Racón. Mayo 2007.

En lo que respecta al oxígeno disuelto, el 2007, presentó menores valores sobre la capa de mezcla (25 m de profundidad), y predominaron concentraciones entre 2,0 y 3,0 mL/L en invierno. La isolinéa de 1,0 mL/L durante el 2007 se presentó por debajo de los 40 m, ascendiendo hacia fines del año. En efecto, a partir de octubre se registró una intensificación y expansión de la capa de mínima de oxígeno (0,5 mL/L), que podría asociarse con incremento de la productividad y degradación de la materia orgánica, puesto en evidencia igual por la distribución y concentración de nutrientes.

Al comparar con el año 2006, éste muestra una mayor oxigenación, con una alta variabilidad interanual en la zona de mínimo de oxígeno, alternando períodos en que existe una mayor oxigenación con otros en los cuales se intensifica el consumo de oxígeno generalmente asociado a los períodos de primavera-verano (Figura 23.4).

Con respecto a los nutrientes, los fosfatos en la columna de agua presentaron concentraciones "normales" en un rango de 1,5 a 3,0 µg-at/L. Sin embargo, su distribución indica condiciones de fuerte afloramiento, particularmente a finales del año 2007 en que la isolinéa de 2,5 µg-at/L alcanza una distribución superficial, coincidente con la distribución de la isoterma de 15,0°C y la isolinéa de 1,0 mL/L de oxígeno (Figura 23.5).

Las concentraciones registradas durante el año 2007 fueron mayores que durante el 2006. Los nitratos presentaron hacia fines del año 2007 un importante déficit (<5 µg-at/L e incluso <2,5 µg-at/L). Al observar la serie de tiempo el mayor consumo de nitratos en general se observa durante primavera-verano, períodos en que se intensifica la mínima de oxígeno. Por su parte en los períodos de otoño-invierno los nitratos se incrementan, lo que se asocia con los eventos de surgencias.

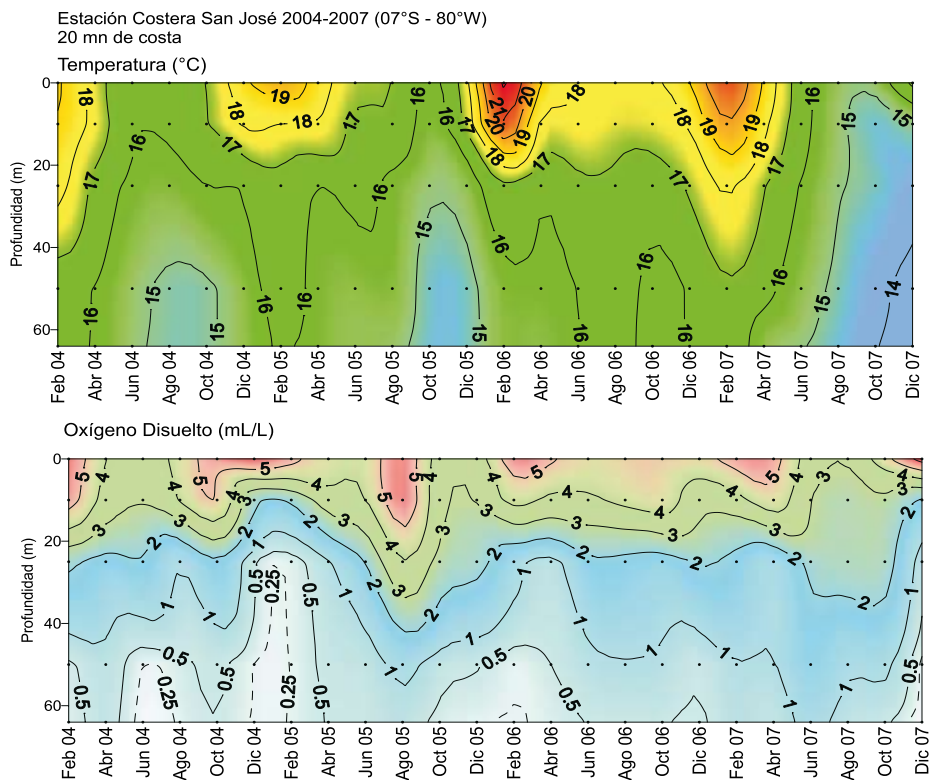


Figura 23.4.- Serie de Tiempo 2004-2007. Estación Fija de San José a 20 mn de costa. Distribución vertical de Temperatura (°C) y Oxígeno (mL/L).

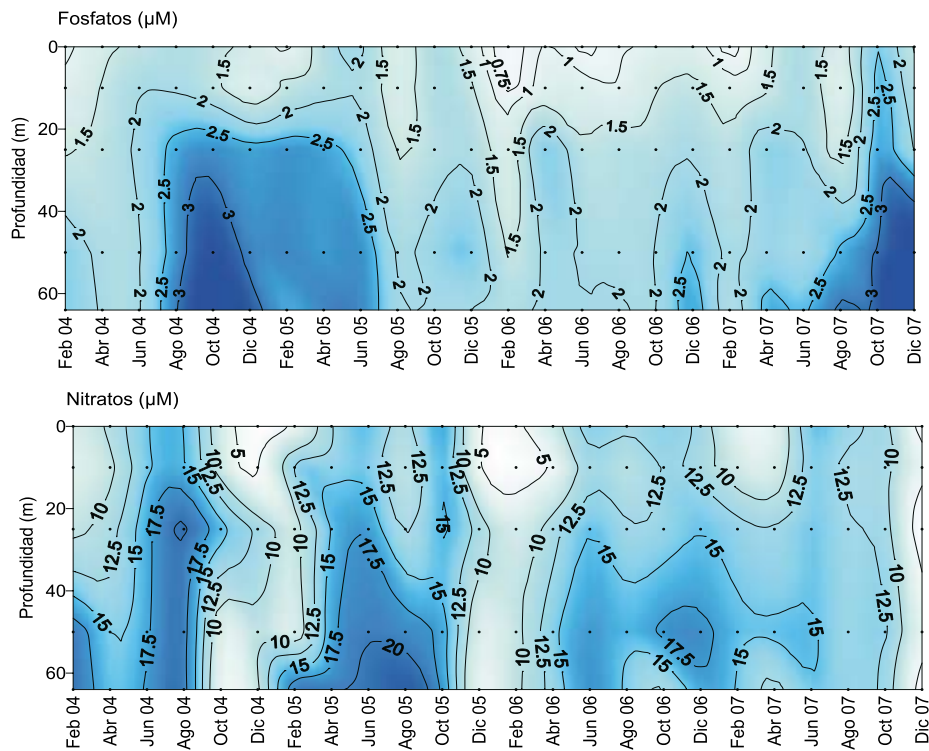


Figura 23.5.- Serie de Tiempo 2004-2007. Distribución vertical de Fosfatos (μM) y Nitratos (μM). Estación Fija de San José a 20 mn de costa.

OBJETIVO ESPECÍFICO 24

INVESTIGACIONES PALEOCEANOGRÁFICAS DEL MARGEN CONTINENTAL

En el año 2007 este Objetivo Específico se ha cumplido en un 88%. Ha desarrollado sus actividades sinérgicamente con otros estudios del IMARPE, y con proyectos internacionales de instituciones como IRD (PALEOPECES, MIXPALEO Y PALEOCONCHAS), de la Unión Europea y Sudamérica (Proyecto CENSOR). Los resultados, además de informes internos, de todas las actividades han sido presentados a la comunidad científica en el Primer Congreso de Ciencias del Mar (CONCIMAR) realizado en noviembre del 2007 en Lambayeque. Cabe mencionar que, además, estos resultados son de aplicación a diferentes actividades científicas y económicas del sector.

La recopilación de información histórica se realizó en testigos de sedimentos obtenidos entre los años 2003 al 2005, trabajándose en el marco del proyecto PALEOPECES y MIXPALEO, permitiendo definir criterios de correlación en los sedimentos de la zona del Callao y obtener muestras para investigar aspectos

de disolución de escamas de peces que se pretenden estudiar el año 2008. También se implementó la metodología de análisis de fósforo en un testigo del año 2005, como un proxy adicional para estudios de origen de materia orgánica y con apoyo de la cooperación de los proyectos mencionados. Por otro lado, se estudiaron a muy alta resolución (a nivel de laminaciones) los componentes biogénicos y terrígenos de testigos de caja.

En los aspectos relacionados a la cartografía del fondo, se digitalizó la línea de costa en 5 mapas base a escala 1:100,000 desde Huacho a Casma para la elaboración de tres mapas temáticos sedimentológicos, base para prospección geofísica. Con la información sedimentológica del banco de datos recopilada en años anteriores (2003 al 2005), se elaboraron mapas temáticos. En conjunto con la Dirección de Pesca y en el marco del proyecto PALEOPECES, se rescató preliminarmente datos de batimetría de fondo de cruceros de IMARPE en la zona central y norte del

Perú, para elaborar un mapa base batimétrico a ser empleado en las actividades de prospección geofísica de alta resolución futura (año 2008). De otro lado se realizó la recopilación de información geofísica de cruceros de IMARPE y datos de multibeam del crucero internacional Galathea 3 (donde participó personal científico de IMARPE), con el fin de poder calibrar el mapa base batimétrico de las zonas de Callao y Pisco que está basado en datos de ecosondas científicas (Figura 24.1).

El 2007 finalizaron los experimentos de calibración de microcrecimiento de moluscos con variables ambientales para aplicación en investigaciones paleoceanográficas desarrollados in situ en la costa de Sechura (norte), Pisco (centro) y Tacna (sur). Las recapturas de organismos *Argopecten purpuratus* (concha de abanico), *Trachycardium procerum* (concha de corazón) y de *Concholepas concholepas* (chanque), destinados a realizar las observaciones de microcrecimiento fueron

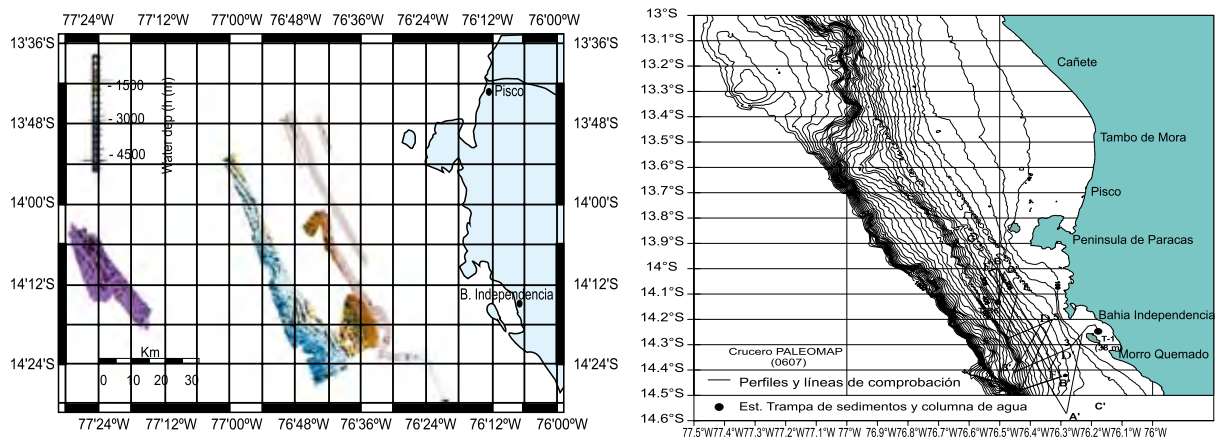


Figura 24.1.- Compilación de información batimétrica. Base de datos colectada con equipos especiales para detección del fondo (a) Crucero GALATHEA 3 y (b) Crucero PALEOMAP 0607-08, para corregir batimetría obtenida con datos de ecosonda científica de IMARPE.



Figura 24.2.- Imágenes de proceso de corte: cortes de secciones de conchas, al microscopio y durante análisis de imágenes (superior). Microscopio petrográfico Nikon e investigadores del IMARPE y del IRD durante trabajo conjunto de estudios de microestructuras (centro). Equipo de corte de otolitos, otolito envuelto en resina y seccionado y corte obtenido del microscopio (abajo).

buenas, obteniendo al menos ocho organismos de cada especie con marcajes anteriores, que permitirán estudiar su microestructura durante el 2008, empleando las metodologías de corte, pulido, obtención de imágenes al microscopio y análisis que se han implementado para esta actividad en el marco de la cooperación internacional a través de los proyectos CENSOR y PALEOCONCHAS. También se recuperó en la mayor parte de los casos los sensores automáticos de temperatura, con datos de la serie de temperatura ambiental asociados a estos experimentos. Los resultados del avance en el análisis de los patrones de microcrecimiento de las conchas y el conocimiento de la relación entre variabilidad térmica y microcrecimiento, se presentaron

en una reunión internacional de esclerocronología en EEUU.

Otra componente de la actividad de calibración de variables de temperatura y microcrecimiento de organismos vivos con fines de investigación paleoceanográfica, se realizó en la especie *Sciaena deliciosa* (lorna), en conjunto con investigadores del laboratorio de biología experimental, del laboratorio de edad y crecimiento y con apoyo de cooperación internacional a través del proyecto PALEOCONCHAS, concretada en la estadía de 3 meses de una científica del IRD, con la cual se implementó metodologías de corte y pulido de otolitos de lornas con fines de estudio de su microcrecimiento, empleando los individuos que se obtuvieron de los experimentos

de acondicionamiento, codificación, marcaje (con fluorocromos y oxitetraciclina), obteniéndose resultados preliminares de esta actividad. Se espera poder trabajar en el 2008 en el proceso de microfotografía y análisis de imágenes de estos cortes (Figura 24.2).

Se ejecutaron 3 cruceros entre Callao y Supe con fines de realizar exploración geofísica, muestreo de testigo de sedimentos e instalación de trampas de sedimentos, coordinados con los proyectos PALEOPECES y MIXPALEO. El primero se realizó entre abril y mayo del 2007, el segundo se dividió en dos etapas con el fin de implementar un sistema automático de colecta de sedimentos que se aplicará a partir del 2008, realizándose 5

días de cruce entre Callao y Supe entre fines de julio y principios de agosto, y el último de tres días de diciembre frente al Callao. En el cruce de abril se definieron zonas de excelente estratificación, que en los cruces de julio y diciembre fueron confirmadas en las muestras obtenidas con sacatestigos de gravedad y multicorer (Figura 24.3). Los resultados revelaron excelentes estructuras a nivel de plataforma, talud continental y en la zona costera, donde además de poder reconstituir variabilidad de condiciones paleoceanográficas y climáticas, los registros tienen gran potencial de reflejar la variabilidad de aporte antrópico al mar.

También se finalizó con apoyo del IRD, el procesamiento de registros sísmicos obtenidos el año 2006 frente a Pisco. Los resultados permitieron definir áreas de futuros muestreos para investigaciones paleoceanográficas en un informe interno. Además esta información permitió dirigir las colectas de testigos de 5 m de penetración obtenidos durante el Crucero Internacional Galathea 3, que, dependiendo de la calidad del registro, permitirían reconstituir condiciones paleoceanográficas de los últimos 2000 años (escala de tiempo de investigación propuesta por PALEOMAP).

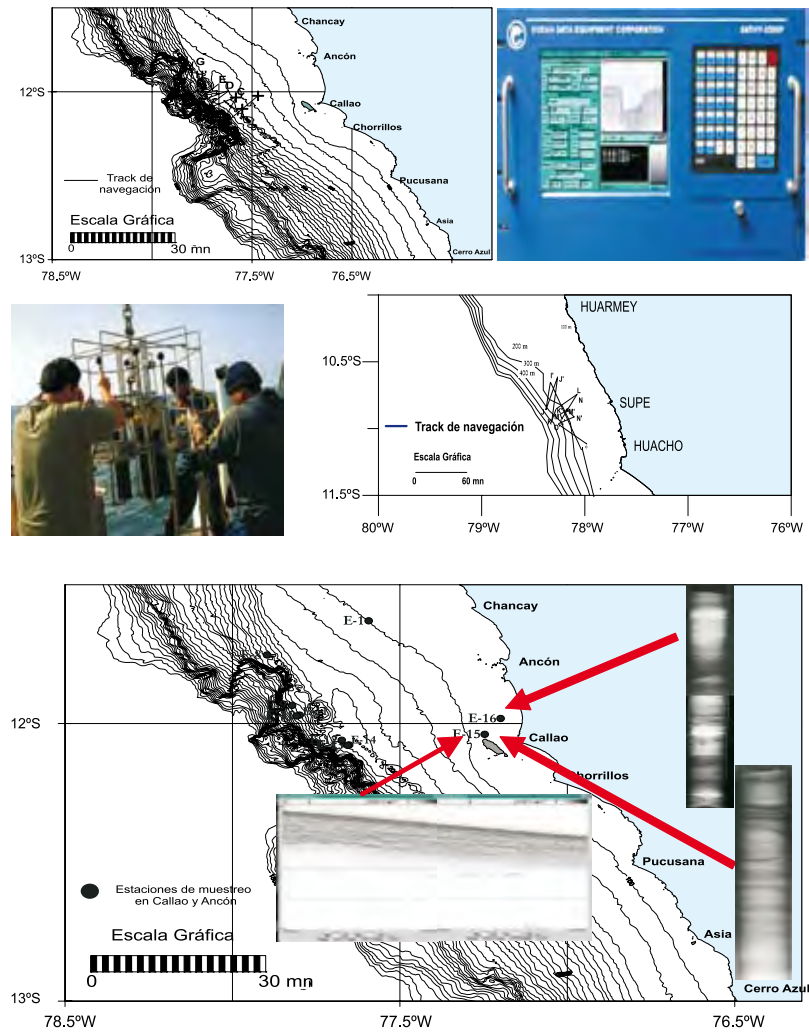


Figura 24.3.- Imágenes de trayectorias de geofísica de alta resolución durante los cruces PALEOMAP 0704 y 0707-08 y de actividades de muestreo (arriba) e imágenes radiográficas de testigos del crucero PALEOMAP 0712 (abajo).

OBJETIVO ESPECÍFICO 25

INTERACCIÓN DE LA ZONA MÍNIMA DE OXÍGENO (ZMO), SEDIMENTACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO Y PROCESOS BENTÓNICOS

25.1 RESUMEN

Las condiciones oceanográficas frente a la costa peruana estuvieron influenciadas por la fase de declinación de El Niño débil 2006-2007 y la rápida transición hacia La Niña. El desarrollo de La Niña se manifestó en condiciones superficiales y subsuperficiales excepcionalmente frías, especialmente en la zona central. No obstante, el régimen de oxígeno disuelto subsuperficial no exhibió una variación en el mismo grado que la temperatura, ya que la zona de mínima de oxígeno (ZMO) solamente se expandió con La Niña cerca de la superficie (≤ 30 m) en la zona muy costera frente al litoral central, permaneciendo retraída a más de 100 m de profundidad en la costa norte. Paralelamente, las concentraciones de clorofila-a en la superficie de los sedimentos indicaron una señal de fuerte aporte de materia orgánica 'fresca', al bentos durante el verano de 2007, frente a la costa central y en la plataforma centro-norte. Las comunidades bentónicas frente al Callao respondieron, en un inicio, con un incremento de la biomasa microbiana durante el verano, seguido de rápida disminución de la biomasa macrofaunal y aumento de la biomasa de los nematodos, mientras que los tapices de *Thioploca* spp. alcanzaron alto desarrollo. En la segunda mitad del año, los tapices de *Thioploca* tuvieron un comportamiento fluctuante y la biomasa de Nematoda mostró disminución. Estas condiciones sugieren una clara señal estacional de las poblaciones de Nematoda, asociada al ciclo anual de aporte de materia orgánica al fondo. La

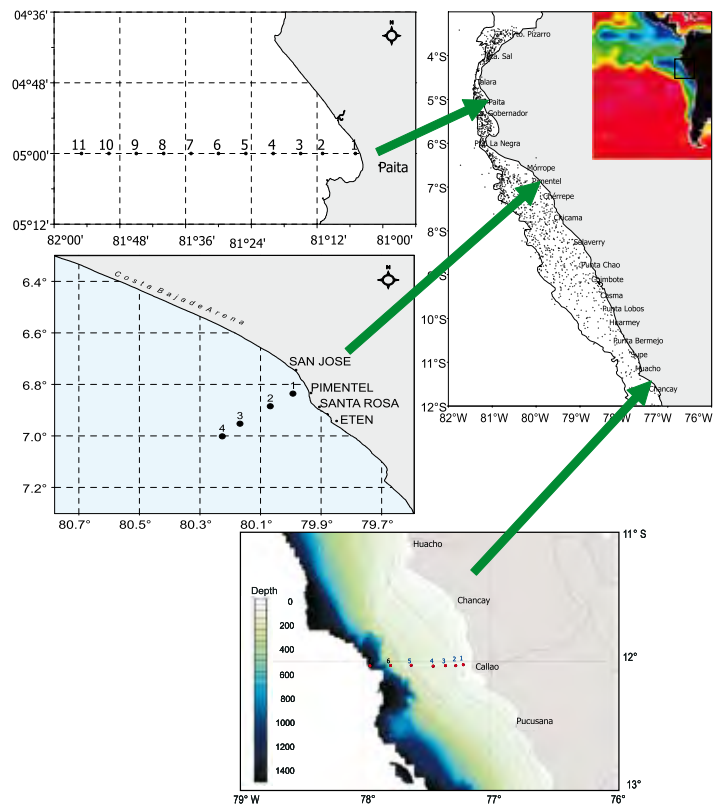


Figura 25.1.- Áreas de estudio del proyecto "Interacción de la ZMO con la sedimentación de carbono orgánico y procesos bentónicos". Las estaciones de bentos están señaladas con estrellas.

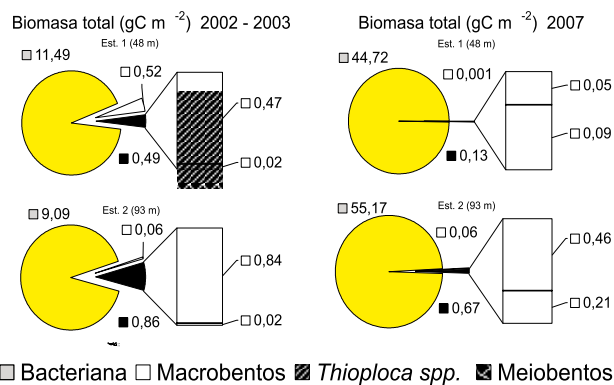


Figura 25.2.- Cambios de la biomasa de los componentes del bentos durante periodos moderadamente cálidos (2002-2003) y neutros o fríos (2007).

persistencia, con fluctuaciones, de los tapices de *Thioploca* y la ausencia de macrofauna, indi-

can la continuación debilitada del régimen ecológico favorable a *Thioploca*, establecido desde

el inicio de El Niño débil 2006-2007.

25.2 INTRODUCCIÓN

La zona de mínima de oxígeno (ZMO) es un importante componente de las propiedades biogeoquímicas del Pacífico ecuatorial y sur oriental. La ZMO es una barrera físico-química para la distribución vertical y latitudinal de recursos marinos explotados, especialmente los demersales. Además, la ZMO ha ejercido una presión selectiva significativa en la evolución de la biodiversidad marina, su distribución e historia de vida. En el escenario actual de cambio climático global, el estudio de la ZMO cobra mayor relevancia, debido al posible aumento de la deficiencia de oxígeno por cambios en los procesos de circulación en zonas costeras, ya de por sí, afectadas por la polución. Asimismo, es de esperar alteraciones del régimen de oxígeno en escalas más amplias, debido a la intensificación del afloramiento costero, de las mareas rojas, de cambios en la ventilación subsuperficial –ecuatorial vs. subantártica–, etc. El presente proyecto busca comprender mejor la interacción de la ZMO con la producción y destino del carbono en el subsistema bentónico sublitoral frente a la costa del Perú. En este marco, aplica un enfoque multidisciplinario, abarcando aspectos de oceanografía física y química, oceanografía biológica y modelado biogeoquímico.

25.3 ÁREAS DE ESTUDIO

El proyecto integra la información bentónica y oceanográfica del margen continental superior frente a la costa centro-norte del país. A esta escala, se evalúan la distribución de la ZMO sobre la plataforma continental y el impacto sobre los parámetros co-

munitarios del macrobentos en condiciones de verano y de otoño austral, en base al programa de cruceros de evaluación de recursos demersales.

El área principal de estudio se encuentra ubicada en el margen continental frente al Callao (Figura 25.1) y comprende un perfil oceanográfico hasta las 50 mn que se evalúa mensualmente. Bajo las fases neutra o negativa del ciclo El Niño Oscilación del Sur (ENSO), el margen continental superior en esta área está sometido a aguas de la ZMO. Otras áreas complementarias son la plataforma continental frente a Paita y frente a San José, las que se vigilan bimestralmente. Ambas, por su ubicación geográfica, permiten evaluar el impacto de los eventos de oxigenación y anoxia sobre el bentos en la zona de transición con las masas de aguas ecuatoriales.

25.4 PRINCIPALES RESULTADOS

25.4.1 Ampliación del modelo de sucesión bentónica en relación a condiciones de oxigenación y anoxia forzadas por el ciclo ENOS

Como un resultado obtenido en el año 2006, en el ANUARIO IMARPE respectivo, se ha planteado un modelo de sucesión del macro y meiobentos que establece tres grandes atractores en la composición de la biota bentónica, en función de la frecuencia e intensidad de eventos de oxigenación y anoxia, asociados a la fase del ciclo ENOS. La información de abundancia de microorganismos, compuestos principalmente de bacterias heterótrofas, obtenida durante El Niño débil 2002 – 03 y durante el 2007, nos permite extender el modelo al microbentos. Bajo las condiciones prevalecientes de anoxia, que caracterizan los sedimentos durante períodos de alta sedimentación de mate-

ria orgánica, normalmente asociados a ENOS neutros o fríos, la biomasa bacteriana microbiana aumenta significativamente aprovechando el aumento del flujo de materia orgánica fresca desde la columna de agua. El aumento paralelo en la biomasa de nematodos se explicaría entonces tanto por la resistencia a las condiciones anóxicas de estos organismos, como por la mayor disponibilidad de materia orgánica disuelta, producto de la actividad bacteriana sobre el material particulado ‘fresco’. En cambio, bajo condiciones subóxicas prevalecientes, bacterias y nematodos se reducen en biomasa, mientras que aumenta la biomasa de *Thioploca* spp. (Figura 25.2). Estas observaciones sugieren que durante años neutros o de la fase fría del ENOS, el aumento del flujo de materia orgánica al bentos se canaliza principalmente hacia la biomasa microbiana.

25.4.2 Variabilidad y evolución reciente de la zona de mínima de oxígeno frente a la costa central del Perú y su relación con forzantes remotos y locales

Al inicio del 2007, las condiciones oceanográficas estuvieron influenciadas por El Niño débil 2006-07; y en la segunda mitad, por el evento La Niña 2007, que se intensificó hacia fin de año.

Frente al Callao, entre agosto y diciembre, las isoterms de 14 y 15 °C dominaron la capa de 50 m de la columna de agua hasta las 50 mn; en el último trimestre, la isoterma de 13 °C ascendió desde los 100 m hasta los 30 m de profundidad en la zona más costera. El límite superior de la ZMO, durante todo el año, fluctuó entre los 20 y 45 m en la zona costera; y a más de 30 mn de la costa, se situó entre los 40 y 100 m.

Frente a Paita también se pudo apreciar el enfriamiento

de la zona costera, con la intrusión de la isoterma de 15 °C dentro de la capa superior de 100 m; sin embargo, el enfriamiento de la estructura vertical no fue tan pronunciado como en 1999 (año La Niña, LN) y el límite superior de la ZMO se mantuvo debajo de los 100 m de profundidad.

Frente a San José, la isoterma de 15 °C llegó a aflorar en la zona costera en primavera y las condiciones térmicas en el segundo semestre fueron más frías que durante LN 1999 – 2000. La expansión e intensidad de la ZMO en la capa subsuperficial fue moderada, salvo en diciembre, en que se detectó anoxia a 50 m de profundidad.

Tomando en conjunto los puntos de monitoreo, se puede concluir una intensificación del afloramiento en la costa centro-norte durante el segundo semestre. Sin embargo, la intrusión de aguas más profundas y frías no se reflejó en una intensificación del mismo grado en la deficiencia de oxígeno en la capa superior de los 100 m. Una explicación sería una mayor ventilación de la capa subsuperficial debido al aumento de la mezcla turbulenta por la intensificación del viento costero. Alternativamente, la diferencia en el comportamiento del O₂ puede obedecer a cambios en las propiedades de la masa de agua de donde se origina el afloramiento costero; es decir podrían obedecer a una ventilación profunda de la ZMO, en una escala más amplia.

25.4.3 Variabilidad temporal de la sedimentación de materia orgánica fitoplanctónica hacia el fondo y de las condiciones físico-químicas en el sedimento

Frente al Callao se apreció una clara señal estacional, con un pico de flujo de clorofila-a a la superficie durante el período

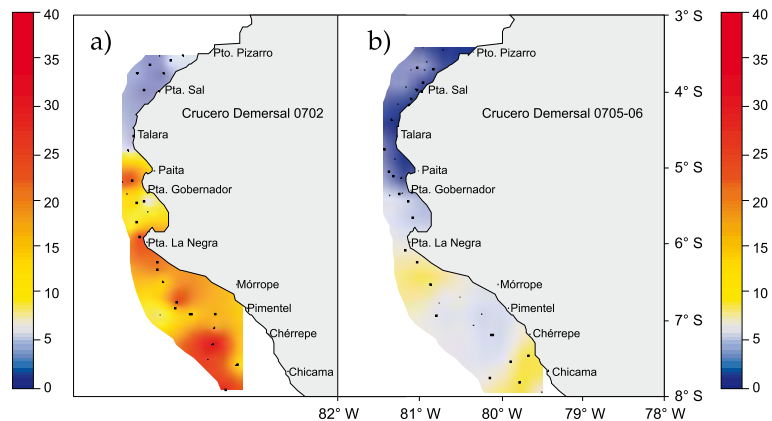


Figura 25.3.- Variación temporal y espacial del contenido de clorofila-a en sedimentos superficiales (expresados en ug/g, en la escala coloreada) de la plataforma centro-norte en: a) verano, Crucero 0702; y b) otoño, Crucero 0705-06.

verano-otoño en todas las estaciones analizadas.

Como respuesta, los sedimentos evolucionaron a condiciones reductoras durante el otoño desde muy cerca de la interfase con el agua suprayacente. El sostenimiento de estas condiciones varió con la profundidad, alcanzando condiciones oxidadas nuevamente hacia la primavera en la estación más profunda. La estacionalidad del flujo de materia orgánica al bentos también se evidencia en la distribución del contenido de clorofila-a en la superficie del sedimento sobre la plataforma centro-norte (Figura 25.3).

25.4.4 Variabilidad estacional e interanual de la biomasa de macrofauna, *Thioploca* y de la meiofauna en la plataforma continental

Series de tiempo en la costa central.- El macrobentos exhibió un mayor desarrollo en riqueza específica, abundancia y biomasa desde fines del 2006 a inicios del 2007, acorde con la ocurrencia de EN débil 2006-2007. La deficiencia de oxígeno y el alto flujo de materia orgánica durante el verano de 2007, provocaron en un inicio el incremento de la biomasa microbiana durante el

verano, seguido de rápida disminución de la biomasa macrofaunal y aumento de la biomasa del grupo Nematoda, mientras que los tapices de *Thioploca* spp. alcanzaron alto desarrollo. En la segunda mitad del año, los tapices de *Thioploca* tuvieron un comportamiento fluctuante y la biomasa de Nematoda mostró una clara disminución.

Series de tiempo en la costa norte.-

Frente a Paita en un escenario frío y oxigenado, los parámetros comunitarios del macrobentos exhibieron rangos similares a las condiciones del 2006 (Figura 25.4). A 65 m de profundidad, se observaron en junio, los valores máximos de abundancia ($1.245 \pm 545 \text{ ind.m}^{-2}$), biomasa ($17,23 \pm 14,96 \text{ g.m}^{-2}$) y riqueza específica ($17 \pm 5 \text{ spp. } 0,04 \text{ m}^{-2}$). Frente a San José (Figura 25.5) la biomasa y la abundancia exhibieron una reducción relativa comparada con el 2006, especialmente en la segunda mitad del año. Entre febrero y abril se registraron los valores más altos de abundancia ($>4.000 \text{ ind.m}^{-2}$), biomasa ($>100 \text{ g.m}^{-2}$) y riqueza específica ($>20 \text{ spp. } 0,04 \text{ m}^{-2}$).

Plataforma centro-norte.- La ZMO, cuyo límite horizontal sobre la plataforma fluctúa normalmente entre los 6 y 7°S, es-

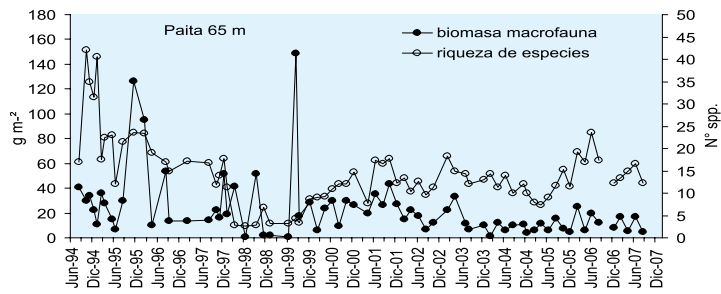


Figura 25.4.- Variación de la biomasa y de la riqueza de especies entre 1994 y 2007 en la estación 3 (65 m) frente a Paita.

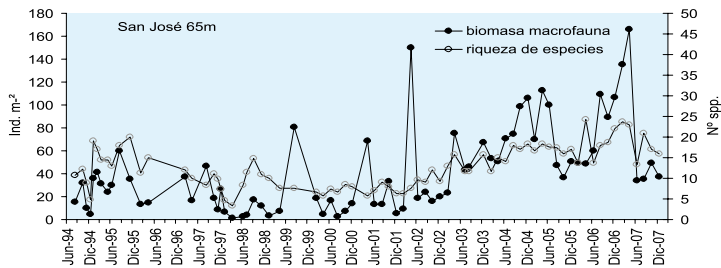


Figura 25.5.- Variación de la biomasa y de la riqueza de especies entre 1994 y 2007 en la estación 4 (65 m) frente a San José.

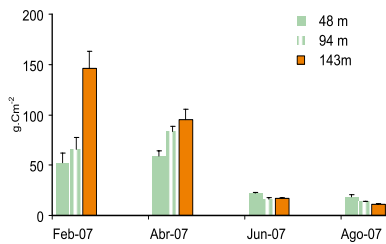


Figura 25.6.- Variación de la biomasa de bacterias por metro cuadrado en las estaciones 1 (48 m), 2 (93 m) y 4 (143 m) frente al Callao. Febrero - agosto de 2007.

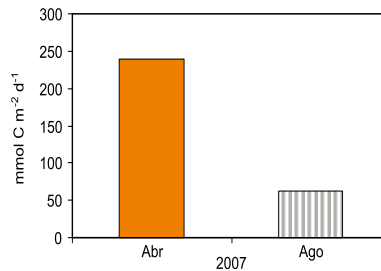


Figura 25.7.- Tasas de respiración bentónica calculadas a partir de experimentos de incubación de sedimentos en la estación 2 (94 m) en abril y agosto de 2007.

tuvo retraída al sur de los 8°S durante el verano y se expandió ligeramente hacia los 7°30'S en el otoño.

Estas condiciones fueron favorables al desarrollo de las comunidades de macrofauna sobre la mayor parte de la plataforma centro-norte, condiciones que han prevalecido en los últimos años.

25.4.5 Implementación de técnicas de cuantificación de biomasa bacteriana y de respiración bentónica en sedimentos costeros

Se ha implementado la técnica de doble tinción (DAPI/naranja de acridina), la que acoplada a microscopía de epifluorescencia permite la marcación, conteo de células y estimación de biomasa bacteriana en los sedimentos. Las primeras determinaciones

realizadas en el Laboratorio de Bentos Marino, arrojan densidades bacterianas en el orden de $1.010 \text{ células.cm}^{-3}$ en los sedimentos superficiales frente al Callao, valores que están por encima de la media de sedimentos costeros en general. Los análisis se repitieron bimestralmente en las estaciones 1, 2 y 4 frente al Callao, obteniéndose una clara señal estacional para la biomasa integrada, con mayores valores en verano y menores en invierno (Figura 25.6). Esta señal es consistente con la estacionalidad del flujo de materia orgánica 'fresca' desde la capa superficial, a juzgar por la serie de tiempo de clorofila-a en el sedimento.

Por otra parte, se efectuaron experimentos de incubación de sedimentos para estimar tasas de respiración bentónica integradas, a partir de la evolución temporal de la producción de CO_2 . Los experimentos se efectuaron con sedimentos colectados en la estación 2 frente al Callao, en abril y en agosto, durante los Cruceros de Investigación Oceanográfica (CRIO). Las tasas obtenidas indican una actividad respiratoria significativamente mayor durante verano-otoño que durante invierno, que concuerda con la estacionalidad del flujo de materia orgánica al bentos (Figura 25.7).

Asimismo, los valores de respiración bentónica son similares en un factor de 2 a los valores de la producción primaria estimada en la capa eufótica, en ambos períodos, indicando un rol significativo del bentos en la remineralización del carbono orgánico del sistema de afloramiento costero.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN II.2

EFFECTO DE ENOS Y CAMBIOS DECADELES EN LA DINÁMICA DE CIRCULACIÓN REGIONAL, MASAS DE AGUA Y COMUNIDADES (EL NIÑO)

OBJETIVO ESPECÍFICO 26

EL NIÑO OSCILACIÓN SUR (ENOS) Y LA VARIABILIDAD ESPACIO TEMPORAL DE LA CIRCULACIÓN SUPERFICIAL Y SUBSUPERFICIAL FRENTE A LA COSTA PERUANA

26.1 VARIABILIDAD DEL AMBIENTE FRENTE A LA COSTA PERUANA

El arribo de la onda Kelvin a fines de diciembre 2006 al norte del Perú, fortificó el desplazamiento normal de las AES hacia el sur, a los 6°S. Las TSM estuvieron dentro del rango 19 a 27 °C, con proyecciones de aguas cálidas del oeste hacia la costa, configurando dentro de las 60 mn anomalías positivas de +1,0 a +2,0 °C de Puerto Pizarro a San Juan; y de +2,0 a +3,0 °C de Chala a Morro Sama.

Temperaturas menores de 21 °C estuvieron dentro de las 20 mn de la costa, replegando las ACF a áreas menores a lo tradicional (Figura 26.1).

Los meses de febrero, marzo y abril, continuaron con ligero calentamiento a distancias mayores de las 30 mn, a diferencia de la franja costera de 20 mn a la costa, que la red de las sedes regionales reportó al inicio de las anomalías térmicas negativas.

En julio, la TSM fluctuó entre 15 °C en la zona costera y 18 °C en el área oceánica. Las AES se ubicaron al norte de Talara con temperaturas de 20 a 25 °C. El afloramiento costero se desarrolló con gran intensidad dentro de las 40 - 60 mn en los principales núcleos de afloramiento: Paita, Pimentel, Chicama, Huarvey en la zona norte, en la zona centro y sur Callao, San Juan y Atico (Figura 26.2).

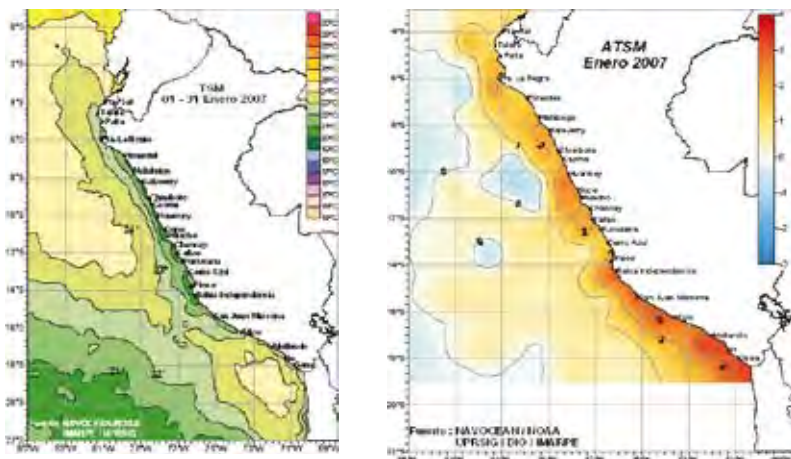


Figura 26.1.- Temperaturas (TSM) y anomalías superficiales (ATSM) del mar peruano. Enero 2007.

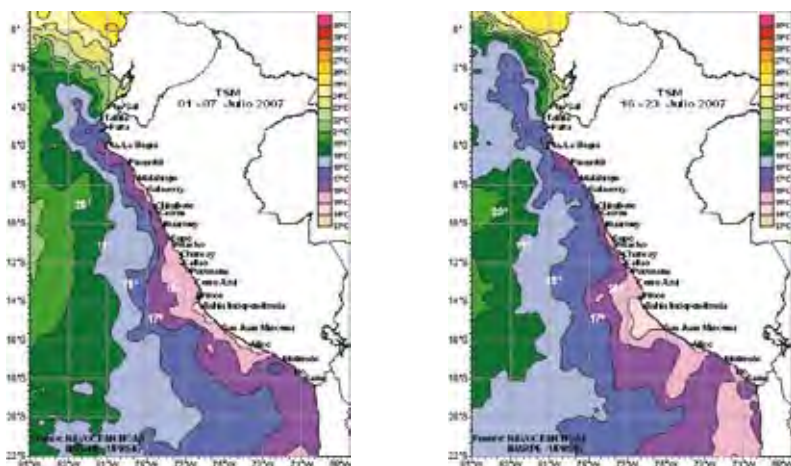


Figura 26.2.- TSM en julio 2007. Izquierda del 1-7; derecha del 16 al 23.

La fortificación del anticiclón del Pacífico sur siguió favoreciendo hasta la tercera semana de setiembre, el descenso de la TSM en 13 - 14 °C en zonas como el Callao y San Juan (Figura 26.3).

El afloramiento costero mantuvo una mayor área de cober-

tura a lo largo de Paita - Ilo, sobrepasando las 100 mn en la zona centro y sur. AES se observaron replegadas al norte de Punta Sal. En noviembre y diciembre continuó el enfriamiento del mar frente a la costa peruana (Figura 26.4).

26.2 CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS DE MESOESCALA.

EN EL VERANO.- Durante enero – febrero, existió un ligero calentamiento asociado a la presencia de AES y aguas de mezcla. Estas condiciones cambiaron rápidamente al norte de los 6°S (ATSM mayores a -2 °C en Paita). Entre 6° y 14°S las condiciones fueron normales. Al sur, las condiciones fueron cálidas (ATSM mayores a 3 °C en Mollendo). Las masas de aguas encontradas en febrero – marzo fueron: ATS al norte de Punta Sal; AES al norte de Talara; ASS entre 4° y 15°S y por fuera de las 30 mn al sur de los 17°S; las ACF se presentaron muy costeras y las ATSA, frente a Atico - Ocoña formando un núcleo.

EN EL OTOÑO.- Se registró mayor enfriamiento en la zona costera (ATSM mayores a -2 °C), debido a la persistencia e intensificación de los vientos. Las concentraciones halinas indicaron ASS por fuera de las 50 mn; ACF dentro de 30 mn al sur de 5°S, y al norte se encontraron aguas de mezcla AES, ASS y ACF.

EN EL INVIERNO.- Las condiciones fueron frías (ATSM mayores a -1 °C) configurando un evento La Niña, a pesar de una fuerte influencia de las ASS en la zona central, AES al norte de los 4°S y

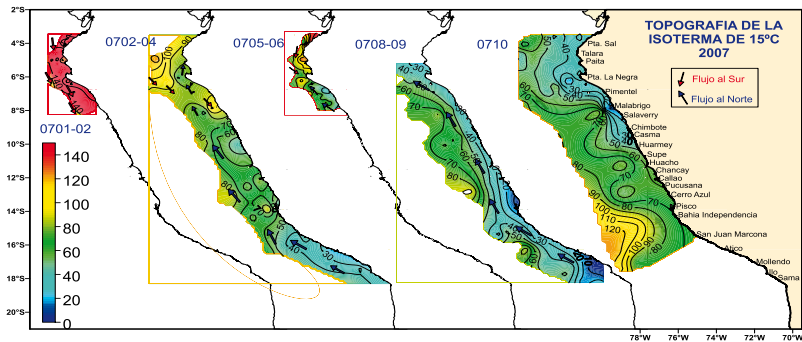


Figura 26.3.- Flujos Geostroficados frente a la Costa Peruana durante los cruces del 2007.

ATSA en el extremo sur.

EN LA PRIMAVERA.- Persistió el enfriamiento, con algunos cortos periodos con incrementos térmicos asociados a los desplazamientos al sur de aguas cálidas del norte (AES) que alcanzaron los 7°S, y a la proyección de las ASS hacia la costa, debido al debilitamiento de los vientos.

26.3 FLUJOS GEOSTRÓFICOS Y CIRCULACIÓN SUBSUPERFICIAL

La ubicación de la isoterma de 15 °C indica, en forma indirecta, el comportamiento de los flujos en la capa subsuperficial (Figura 26.3). En enero-febrero se presentaron flujos al sur hasta Pimentel; se debilitaron en febrero-marzo, quedando una zona no muy bien definida entre los 6° y 8°S, donde no se observaron flujos predominantes. En mayo-junio los flujos hacia

el norte se intensificaron y proyectaron más al norte de los 6°S (Punta Falsa). En agosto-setiembre los flujos se intensificaron y lograron mayor cobertura, hasta los 5°S, el límite norte del área de estudio, pero se estimó una proyección mucho más al norte. En octubre la circulación mantuvo características similares a los meses anteriores, es decir, solo se observaron flujos provenientes del sur con algunas singularidades (remolinos) frente a Chicama y Supe.

Variabilidad superficial y subsuperficial de la circulación marina frente a la costa peruana.

Durante la última quincena de enero, la velocidad relativa de la circulación subsuperficial, presentó un flujo hacia el sur dentro de las 50 mn frente a Paita, Punta La Negra y Chicama, alcanzando ligeramente hasta Chicote. Este flujo relacionado con la extensión sur de la Co-

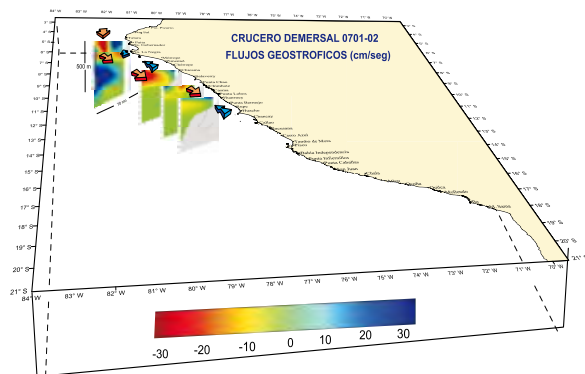


Figura 26.4.- Circulación subsuperficial registrada durante el cruce demersal 0701-02.

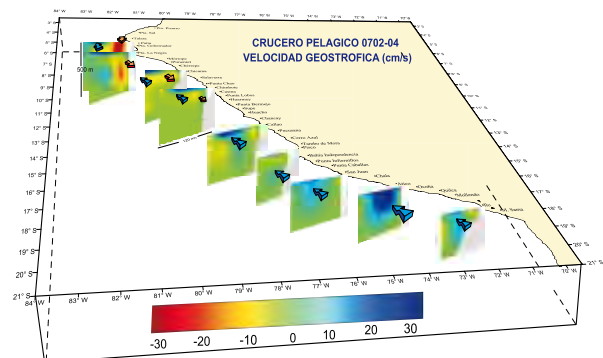


Figura 26.5.- Circulación subsuperficial registrada durante el cruce pelágico 0702-04.

rriente de Cromwell (ESCC) y con la proyección de AES (cuyo núcleo contiene intensidades >25 cm/s frente a Paita y Chicama e intensidades de 15 cm/s frente a Punta La Negra) indicaron que la ESCC se ubicó sobre su posición normal, por fuera de las 30 mn frente a Paita, de las 15 mn frente a Punta La Negra y de las 25 mn frente a Chicama (Figura 26.4).

En la primera quincena de febrero, la circulación sub-superficial, encontró tendencias a la normalidad, presentando algunas áreas de vorticidad dentro de las 10 mn frente a Paita y Chicama.

La circulación subsuperficial mostró en la última semana de febrero y primera semana de marzo flujos con dirección hacia el norte por fuera de las 20 mn, presentando la máxima velocidad (22 cm/s) frente a Atico y las mínimas velocidades (5 cm/s) frente a Pisco. Estos flujos estuvieron relacionados con la Corriente Costera Peruana (CCP), que presentaron un núcleo hasta los 200 m de profundidad frente Atico y San Juan, la misma que se elevó hasta los 40 m de profundidad en su recorrido hacia el norte, asociados a ASS (Figura 26.5).

Flujos hacia el sur se ubicaron entre Paita y norte de Chimbote asociados a la ESCC. El núcleo principal se ubicó frente a Paita y Punta Falsa, entre 50 y 200 m de profundidad y entre las 30 y 50 mn de distancia a la costa, con velocidad de hasta 23 cm/s en su núcleo principal.

En mayo y junio, la zona norte presentó flujos hacia el sur hasta Pimentel, entre las 20 y 35 mn, con velocidades de hasta 15 cm/s en su núcleo principal. Estos flujos, asociados a la ESCC, frente a Pimentel presentaron una bifurcación hacia la zona costera y hacia la zona oceánica. Lo observado indica la recupe-

ración de flujos hacia el sur, asociada a la ESCC, que influencia la zona frente a Paita, Sechura y Punta La Negra, pero a su vez es contrarrestada por los flujos del sur asociados a la CCP la cual muestra su influencia hasta la Isla Lobos de Tierra (6°40'S).

Por fuera de las 90 mn encontramos flujos hacia el sur relacionados con la Contra Corriente Peruano - Chilena (CCPC) que se desplazó con velocidades de hasta 35 cm/s en su núcleo principal frente a Punta Falsa.

En general, los flujos hacia el sur asociados a la ESCC y que se ubicaron dentro de las 40 mn, mostraron una variación estacional próxima a lo normal dentro del primer semestre del año. Se fortalecieron en el verano y alcanzaron su máxima proyección hacia el sur en mayo; sin embargo, en el segundo semestre del año, la ESCC se ha encontrado poco más retraída de su posición normal, al norte de Punta Falsa y Paita. Los flujos hacia el sur relacionados con la CCPC llegaron a 35 cm/s en su núcleo principal frente a Punta Falsa.

La CCP, en la zona centro mantuvo su posición normal en los primeros meses del año, amplió su rango de variación de la costa en invierno y primavera, hasta las 40 - 50 mn e incrementando sus velocidades relativas (que alcanzaron hasta los 30 cm/s) frente a Callao y Chimbote. En la zona norte su variación fue menos amplia, de 10 y 30 mn y con proyección hasta Punta Falsa a mediados de octubre.

La Corriente Oceánica Peruana (COP), mantuvo su posición normal en el primer semestre, con velocidades de hasta 25 cm/s frente a Ocoña; en el segundo semestre la velocidad se incrementó hasta 30 cm/s frente a Punta Infiernillos con proyección hasta el norte de Pimentel

26.4 PROCESOS DE MICROESCALA

Características oceanográficas físicas de las estaciones fijas costeras de Paita, San José y Callao 2007

En verano, mostraron el desplazamiento de ASS (cálidas) hacia la costa frente a Paita, mezcla de ACF y ASS en la zona de San José y Callao. En otoño y primavera, frente a Paita incursionaron ATS y AES; en invierno existió gran presencia de ACF, que predominaron en la zona centro-norte, Callao y San José. En general, en el primer trimestre del año las condiciones ambientales fueron ligeramente cálidas; para el segundo semestre del año las condiciones ambientales fueron frías, catalogadas como un evento La Niña.

Estación Costera Fija de Paita

La distribución térmica superficial frente a Paita mostró un descenso desde verano hasta primavera. Sin embargo, no se observó un claro contraste térmico entre las temperaturas cercanas a la costa con las más alejadas (50 mn). Por fuera de las 30 mn de costa la TSM mantuvo tenores superiores a 21 °C. La salinidad varió de 33,322 ups en junio, por fuera de las 40 mn de la costa, a 35,115 ups en agosto, a 20 mn. Hubo predominio de ACF y ASS en febrero - abril y agosto; durante otoño y primavera el predominio fue de AES, con influencia de ATS.

En la estructura vertical de la columna de agua mostró en febrero, un ligero avance de las ASS hacia la costa, con procesos de mezcla (ASS y ACF) hasta 100 m de profundidad. Se registró la isoterma de 15 °C a profundidades mayores a 160 m, asociada a la presencia de la ESCC, desde diciembre 2006.

En abril la temperatura disminuyó en 5 °C reflejando un descenso térmico considerable,

con una mayor incursión de las ACF, pero con formación de aguas de mezcla (ACF y ASS), además de la reactivación de los procesos de afloramiento costero, principalmente por dentro de las 20 mn de la costa.

Durante junio y octubre se observó la proyección de ATS, por fuera de las 20 mn, hasta profundidades de 20 m; presencia de las AES muy próximas a la costa, hasta 40 m de profundidad. Esta proyección generó alteraciones en la capa superficial, aumentando las ATSM de hasta +3,5 °C, por un corto periodo de tiempo (una semana) lo cual fue corroborado con el Crucero Demersal 0705-06. En agosto se presentaron condiciones ambientales típicas del invierno austral, mostrándose frío en toda la columna de agua con presencia de ACF y ASS formando ligeros procesos de mezcla.

Estación Costera Fija San José

La TSM varió entre 21,7 °C (febrero) y 14,1 °C (octubre), con promedio anual de 17,0 °C. Se registró un descenso térmico paulatino de enero hasta octubre, pero aumentó ligeramente en diciembre. De junio a noviembre se presentó un periodo frío. En general, las concentraciones halinas indicaron predominio de ACF, con excepción del periodo febrero – mayo, cuando las ASS dieron lugar a grandes mezclas.

En la distribución vertical de la temperatura, durante verano fueron ligeramente altas, pero en abril disminuyeron 2,0 °C. La salinidad indicó predominio de ASS con procesos de mezcla ASS y ACF. En otoño continuaron las ACF en toda la columna de agua, y también la mezcla ACF + ASS. En invierno y primavera hubo mayor predominio de ACF, manteniendo la tendencia de enfriamiento.

En general, de febrero a agos-

to las temperaturas han descendido asociadas a los cambios estacionales, a los procesos de surgencia en la zona y a la gran proyección hacia el norte de la Corriente Costera Peruana (CCP).

Estación Costera Fija de Callao

Las TSM durante verano tuvieron un rango normal con valores mayores a 19 °C; de otoño a primavera, se mostraron frías, con ATSM alrededor de -2,0 °C; predominaron ACF, con salinidad menores a 35,0 ups y temperatura menores a 16,0 °C. En general, durante todo el año se presentó predominio de ACF dentro de las 20 mn, con ligeros procesos de mezcla (ACF + ASS) en la zona oceánica, que caracteriza la zona de Callao.

En la distribución vertical, al igual que la zona norte, presentó un ligero aumento térmico en febrero, propio del verano, debido a la incursión de ASS, que profundizaron la isoterma de 15 °C por debajo de los 150 m. A inicios del otoño (abril) ya se mostró un descenso de 2,0 °C en toda la columna de agua y predominancia de ACF. De junio a noviembre, continuó el enfriamiento por procesos de afloramiento costero y la intensificación de la CCP. La isoterma de 15 °C durante invierno y primavera ascendió en más de 100 m, respecto a lo registrado

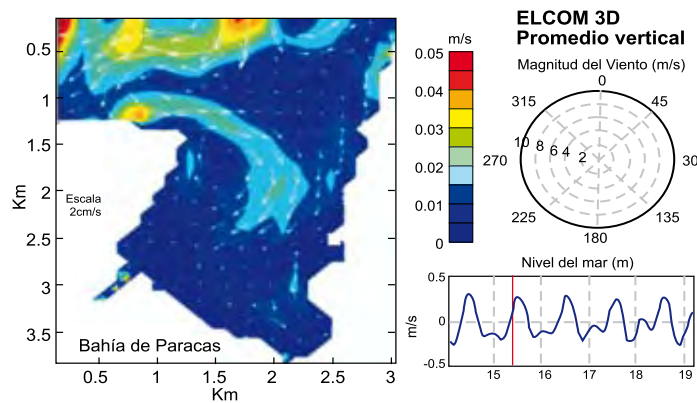


Figura 26.6 - Simulación de la hidrodinámica en la bahía de Paracas.

en abril, y se mantuvo el predominio de las ACF. En diciembre, Callao presentó un ligero aumento térmico, dando paso a una normalización de las condiciones ambientales, pero manteniendo a las ACF como masa de agua predominante, asociado a procesos de surgencia.

26.5 SIMULACIÓN DE LA HIDRODINÁMICA EN LA BAHÍA DE PARACAS UTILIZANDO FORZANTES AMBIENTALES

Se presenta la simulación hidrodinámica de la Bahía de Paracas mediante mediciones oceanográficas de campo y simulaciones numéricas. Se analizó una serie de datos (perfiles de temperatura, salinidad y velocidad de las corrientes), complementados con datos meteorológicos, de nivel del mar, y datos hidrográficos. Los resultados de las simulaciones numéricas obtenidas se realizaron con el modelo computacional ELCOM, y fueron los siguientes (Figura 26.6).

- Cuando se presentan corrientes mayores y una circulación definida, pueden traer implicaciones en los tiempos de flujo del sistema, haciendo que la bahía sea vulnerable a contaminantes.
- La fricción con el fondo modifica las velocidades, esto implica un sistema influenciado

por efectos de rozamiento más que por efectos de rotación terrestre.

- La circulación superficial y la mezcla vertical responden al esfuerzo del viento para velocidades superiores a 4,0 m/s; durante la bajamar la dirección de la corriente de fondo es hacia el interior de la bahía por la boca de conexión, y viceversa, durante la pleamar; las corrientes superficiales siguieron la dirección del viento para velocidades mayores a 4 m/s.
- La estructura vertical de temperatura presentó gradientes pronunciados; debido a que por la advección del sistema, las temperaturas bajas entran por el fondo y parte Este, e inundan la bahía modificando la mezcla y estratificación.

La marea influye durante las pleamares y bajamares en la estratificación del fondo a la superficie. Las corrientes marinas simuladas son del orden de 2 a 5 cm/s en la superficie y son influenciadas por el viento, mientras que en el fondo son de 2 a 3 cm/s y responden al flujo y reflujo de la marea.

26.6 VARIABILIDAD ESTACIONAL DE LAS CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS EN LA ZONA COSTERA DE LA BAHÍA DE PARACAS

Se presentan los resultados del análisis de los datos obtenidos de una serie de mediciones oceanográficas realizadas en un plan de monitoreo, para investigar la dinámica de las corrientes e hidrografía marina en la plataforma continental de la bahía de Paracas, Pisco.

Las mediciones se efectuaron en marzo (verano) y en agosto (invierno). En un periodo de 4 días se realizaron 50 sondeos distribuidos en una malla espa-

cial de puntos que abarca una superficie de 8 x 17 km, en las estaciones programadas. Se llegó a una profundidad máxima de 70 m. Los resultados fueron los siguientes:

- En verano, la capa superficial (0-10 m) presentó corrientes con dirección norte, y velocidades entre 10 a 12,5 cm/s; la capa intermedia (15-25 m), velocidades entre 6 a 7,5 cm/s y la capa de fondo (40-65 m), velocidades entre 5 y 2,5 cm/s. con dirección preferente del sur. En invierno, la velocidad en la capa de fondo aumentó de 6 a 10 cm/s. Esta diferencia en la estructura vertical entre la capa superficial (0-10 m) y la capa de fondo 40-65 m), probablemente se deba al esfuerzo del viento que podría estar dominando la capa superficial.
- La distribución vertical de la temperatura en verano se comportó como un sistema de tres capas: una capa de mezcla (0-6 m) con temperaturas entre 21 y 23 °C; una capa intermedia (8-10 m) con 17 a 18 °C; y una capa de fondo con 16 a 17 °C. En invierno, también hubo tres capas definidas, pero de diferente profundidad: superficial (0-20 m) con 15 a 15,5 °C, intermedia (25-40 m) con 14,5 a 14,8 °C y de fondo con 14 a 14,3 °C. En ambos casos las capas mostraron mezcla en la vertical.
- La distribución vertical de la salinidad presentó un núcleo pegado a la costa con salinidad entre 34,4 y 34,5 ups (0-5 m), la capa intermedia (10-30 m) y la capa de fondo (40-65 m) mostró un sistema vertical casi homogéneo, con 34,9 y 35,1 ups. En agosto la distribución de la salinidad fue diferente: en la capa superficial (0-20 m) tuvo núcleos de 35 a 35,1 ups; en la capa interme-

dia (20-40 m) de 35 ups y una capa de fondo con salinidad entre 34,93 y 34,99 ups.

- La diferencia dinámica entre la boca de conexión y el resto de la bahía, se debe al cambio de volumen de agua al bajar y subir la marea, lo que hace la zona cercana a la boca más energética en comparación con la zona norte de la bahía.

26.7 CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS FRENTE A LA ISLA LOBOS DE AFUERA. Balsa Biológica San Gabriel II

La balsa biológica fue sembrada estratégicamente (6°54,21'S 80°44,98'W) a 4 km frente a la isla Lobos de Afuera, lo que permitió monitorear el Frente Ecuatorial, que es uno de los más pronunciados en latitudes bajas y está íntimamente ligado al ingreso de aguas cálidas provenientes del norte, lo que nos serviría como indicador del evento El Niño.

En el PRIMER TRIMESTRE del 2007 (verano), la TSM (Figura 26.7), en la isla Lobos de Afuera presentó valores medios de 22,37 °C, 22,59 °C y 20,98 °C en enero, febrero y marzo. Estos valores ocasionaron ATSM de +2,04 °C +0,68 °C y -0,77 °C, lo que configuró condiciones cálidas en un inicio, normales en febrero y frías en marzo.

En el SEGUNDO TRIMESTRE (otoño), el ambiente oceánico tuvo características frías con anomalías de -0,15, - 2,16 y -1,85 °C en abril, mayo y junio. Esto debido a la intensificación de los procesos de afloramiento reflejado en valores de oxígeno de 2,83 a 5,83 mL/L (Figura 26.8).

En el TERCER TRIMESTRE (invierno), en julio, agosto y setiembre, los promedios fueron: 16,3, 15,4 y 15,27 °C con ATSM de -1,73,

-1,94 y -1,97 °C. Los valores de oxígeno (Figura 26.8) estuvieron en el rango de 4,2 a 6 mL/L. Estos tenores oceanográficos, así como los procesos de afloramiento condicionarían que prevalezcan las condiciones frías.

Durante el CUARTO TRIMESTRE (primavera), en octubre se registró 15,41 °C, en noviembre 16,53 °C y en diciembre 17,26 °C. Sin embargo, a pesar de este aumento, las ATSM permanecieron por debajo del promedio patrón: -1,98 °C (octubre) -1,71°C (noviembre) y -2,11 °C (diciembre). Los valores de oxígeno disuelto, variaron de 4 a 6,5 mL/L. Esto muestra que durante la primavera del 2007 continuaron las condiciones frías con ocurrencia de procesos de afloramiento.

La presión atmosférica (Figura 26.9) en el primer trimestre (verano) varió de 1010 a 1011 hPa. En el segundo trimestre (otoño) aumentó hasta 1013 hPa. En el tercer trimestre (invierno) la presión atmosférica alcanzó valores cercanos a 1014,5 hPa. En octubre continuo la misma tendencia que el trimestre anterior, pero en noviembre y diciembre presentó una ligera disminución registrando valores de 1012 a 1013 hPa.

La zona de ubicación de la balsa se caracterizó por sus características frías.

En enero prevalecieron condiciones cálidas (+2,04 °C), en febrero fueron normales (+0,68 °C) y en marzo fueron ligeramente frías (-0,77 °C). Desde abril a diciembre las anomalías térmicas variaron de -1,8 a -2,0 °C con ocurrencia de importantes procesos de afloramiento.

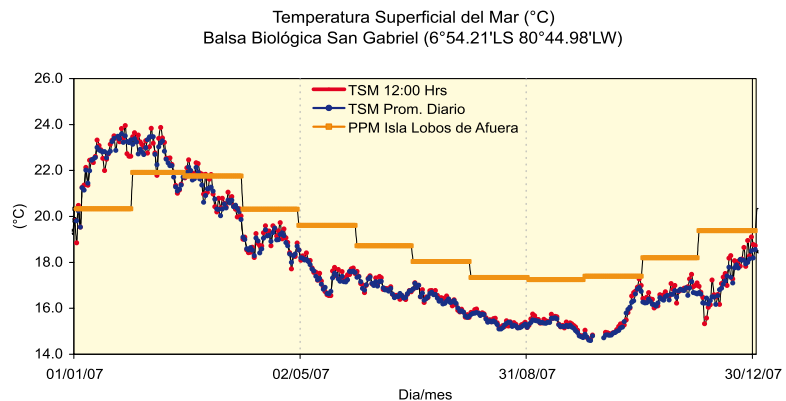


Figura 26.7.- Serie de tiempo de la TSM (°C) durante el 2007. Balsa Biológica San Gabriel II

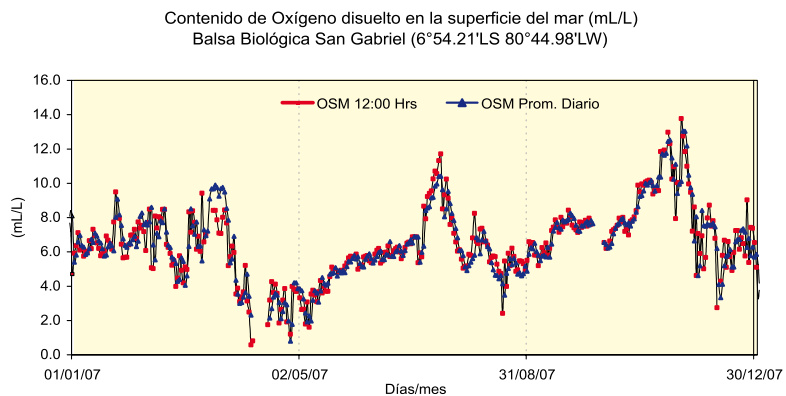


Figura 26.8. - Serie de tiempo del contenido de oxígeno disuelto en la superficie del mar (mL/L). Balsa San Gabriel II .2007.

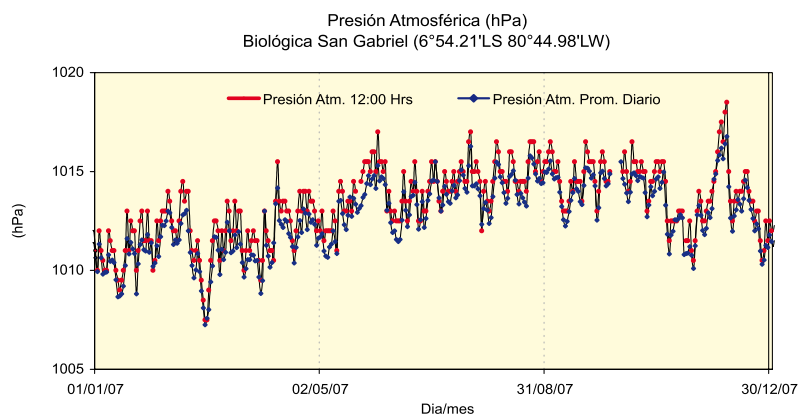


Figura 26.9.- Serie de tiempo de la presión atmosférica (hPa), durante 2007. Balsa Biológica San Gabriel II.

OBJETIVO ESPECÍFICO 27

ESTUDIO RETROSPECTIVO Y EFECTOS DE EL NIÑO SOBRE LA COMUNIDAD PLANCTÓNICA

27.1 ANÁLISIS DE MUESTRAS DE ZOOPLANCTON

En 50 muestras de zooplancton se pudo identificar un total de 378 taxones distribuidos en 26 grupos. La abundancia total de zooplancton y el número de taxones resultó mayor en el periodo cálido que en el periodo frío.

Fitoplancton.- Durante el primer semestre del 2007, se llevó a cabo la parte final del Proyecto Fase 3: Rescate de datos históricos de fitoplancton y su ambiente entre 1984-2000, el cual se inició en mayo del 2006 y terminó en abril del 2007, financiado por la University Corporation for Oceanographic Research (UCAR), USA. Se rescató información de fitoplancton asociado a datos ambientales entre 1996-2000. Un total de 24 informes

fueron enviados al World Data Center (WDC), Silver Spring. En junio, se presentó el informe final de esta fase, remitiéndose las versiones en inglés al UCAR y WDC (USA).

Para el segundo semestre, se realizó la ampliación del convenio entre el WDC-IMARPE para ejecutar el Proyecto Fase 4: Rescate de datos históricos de fitoplancton y su ambiente entre 2001-2005, con el soporte económico del UCAR, suscrito en julio 2007. Entre agosto y setiembre se realizó la recopilación y el control de calidad de la información de fitoplancton asociado a datos ambientales entre 2001 y 2005. En noviembre y diciembre se realizó la digitación de la información de fitoplancton asociado a parámetros ambientales correspondientes al año 2001. El mecanismo de los reportes

de información al WDC fue por E-mail y DHL, enviándoles a la fecha tres CD.

Colección científica.- Se ha implementado una colección científica de especies de fitoplancton, zooplancton e ictioplancton. Al nivel del ictioplancton se han separado huevos y larvas de algo más de 50 especies, entre las cuales, las larvas de la familia Myctophidae se han considerado como las más importantes, por sus niveles de abundancia y frecuencia. En la colección de zooplancton se han separado principalmente especies de copépodos, que representan el grupo más importante por su abundancia, frecuencia y diversidad. Adicionalmente a la colección científica, se han tomado fotografías digitales que permitirán hacer un catálogo de los mismos (Figura 27.1).



Figura 27.1.- *Acartia tonsa*: a) nauplio; b) huevos; c) hembras adultas.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN II.3

MODELADO DE PROCESOS DEL ECOSISTEMA MARINO DE HUMBOLDT

OBJETIVO ESPECÍFICO 28

MODELADO DE PROCESOS FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS DEL ECOSISTEMA DE LA CORRIENTE DE HUMBOLDT

Como parte del sistema de gestión de la calidad, se realizó un servicio de mantenimiento electrónico para la instalación de un cluster de 8 nodos, el cual permitirá realizar simulaciones con mayor resolución espacio temporal.

Modelado físico.- Se realizaron simulaciones de viento con el modelo atmosférico WRF, validado con vientos de satélite QuikSCAT (Figura 28.1). Se observó mayor variabilidad en los datos de Quikscat y cerca a la costa. También se identificaron estructuras de mesoescala usando métodos estadísticos con las salidas del modelo ROMS (Regional Oceanic Model System) (Figura 28.2). Se encontraron remolinos ciclónicos y anticiclónicos a lo largo de la costa. Adicionalmente, se inició la capacitación sobre modelado biogeoquímico usando el modelo ROMS-PISCES (Figura 28.3).

Efectos de El Niño y la Oscilación del Sur (ENOS).- Se modeló la señal del Índice de Oscilación Peruano (IOP) mediante un modelo de redes neuronales, cuya arquitectura es una capa de entrada de 9 neuronas, una capa oculta de 3 neuronas y una capa de salida con una neurona. Se logró una representación adecuada para algunos eventos El Niño, como los años 1965-66, 1972-73, 1976-77 (Figura 28.4).

Con el fin de investigar el uso de modelos sintéticos para el manejo ecosistémico, se ajustaron modelos de crecimiento po-

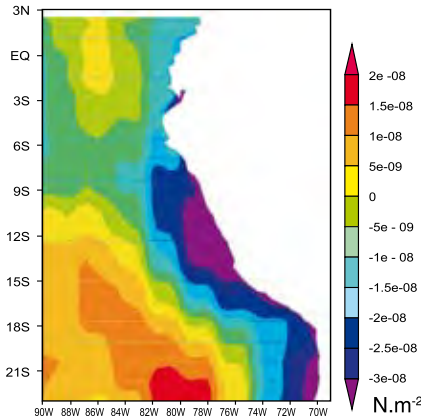


Figura 28.1.- Campo rotacional de esfuerzo de vientos simulados con el modelo atmosférico WRF.

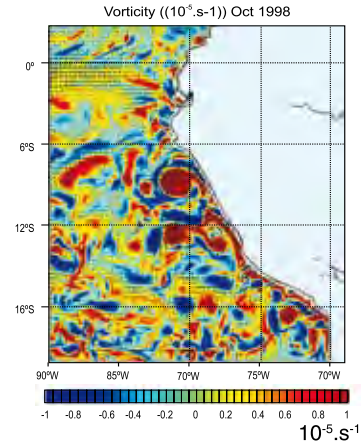


Figura 28.2.- Distribución de la vorticidad relativa.

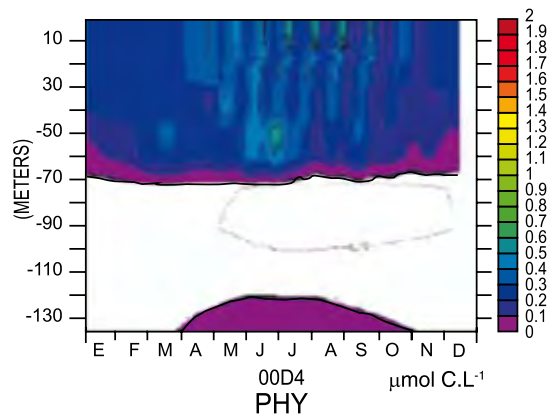


Figura 28.3.- Fitoplancton de modelo unidimensional ROMS-PISCES.

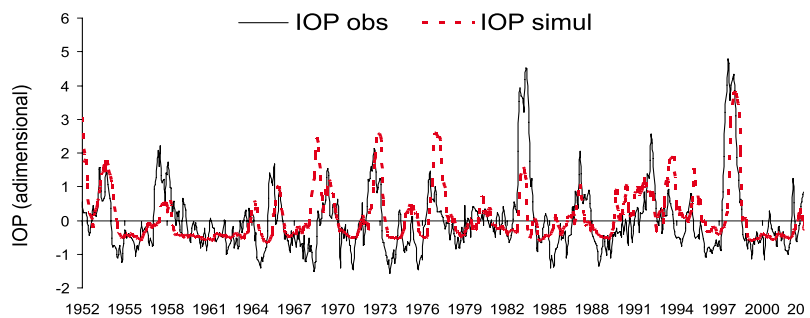


Figura 28.4.- Variación temporal del IOP observado y el IOP simulado. Enero 1952 – diciembre.2003.

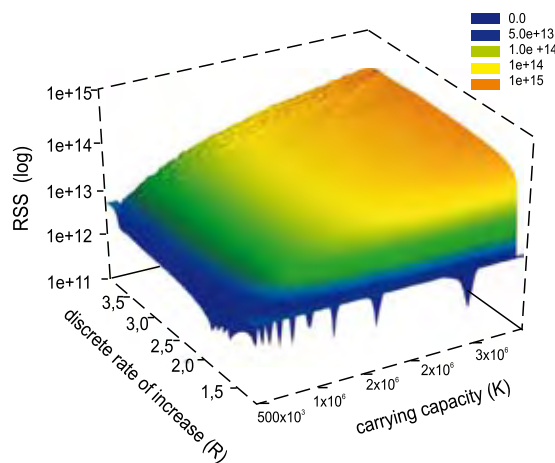


Figura 28.5. Superficie de la función de error en el espacio de parámetros R y K para el modelo de crecimiento poblacional logístico de la merluza.

blacional de merluza a datos de biomasa y captura. El enfoque

global dependiente del tiempo fue el mejor enfoque de esti-

mación de parámetros (Figura 28.5).

OBJETIVO ESPECÍFICO 29

ANÁLISIS INTEGRADO DE PROCESOS DEL ECOSISTEMA DE LA CORRIENTE DE HUMBOLDT

Con respecto al análisis integrado del Ecosistema de la Corriente de Humboldt (ECH), se analizó la dinámica estacional del Giro Subtropical del Pacífico Sur y su relación con el cambio de régimen climático frente a la costa peruana. Recientemente se ha discutido la importancia

de los procesos dinámicos que afectan la termoclina tropical, por lo tanto el estudio del Giro Subtropical del Pacífico Sur es importante para entender la modulación de baja frecuencia de El Niño. Se realizó una interpolación óptima a partir de los cruceros internacionales (pun-

titos negros) del atlas oceanográfico mundial (WOA05) para mostrar la interacción entre el giro subtropical y la termoclina tropical climatológica. Entre los 15 y 30°S se observó la isoterma de 25 °C más superficial en los últimos 26 años (Figura 29.1).

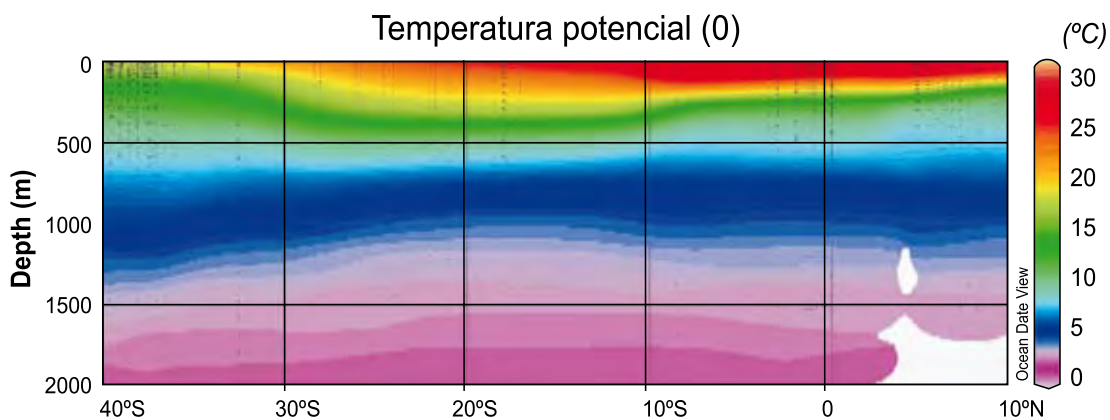


Figura 29.1.- Distribución vertical de la termoclina para el verano (1950-2002) a lo largo de la longitud 180°W.

PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN III

INVESTIGACIONES EN ACUICULTURA Y OCEANOGRAFÍA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN III.1

INVESTIGACIONES PARA EL DESARROLLO ACUÍCOLA

OBJETIVO ESPECÍFICO 30

CULTIVO DE ORGANISMOS MARINOS DE IMPORTANCIA ECONÓMICA

30.1 CULTIVO DE PECES

Lenguado *Paralichthys adspersus*
Se formó un nuevo “stock” de reproductores del lenguado, colectados en la playa Las Salinas, Huacho. Éstos se aclimataron y acondicionaron en el nuevo Centro de Investigaciones Acuícolas Alexander von Humboldt (Figura 30.1), para realizar los ensayos de reproducción natural e inducida.



Figura 30.1.- Tanques de acondicionamiento de “lenguado”

Cabrilla, *Paralabrax humeralis*
Se obtuvieron los primeros desoves en cautiverio durante enero y febrero. La eclosión de los huevos fertilizados ocurrió 30 horas después. Las larvas recién emergidas presentaron saco vitelino; al tercer día fueron alimentadas con rotíferos y copépodos. A los 20 días se cambió el alimento a nauplios y metanauplios de *Artemia franciscana*. Actualmente se cuenta con un pequeño grupo de juveniles con una talla promedio de 20 mm (Figura 30.2).

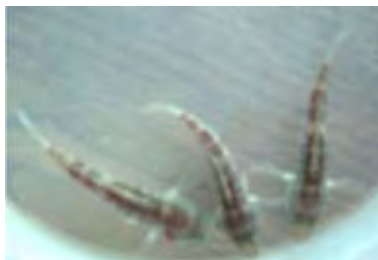


Figura 30.2.- Juveniles de “cabrilla” de 60 días

30.2 CULTIVO DE MOLUSCOS

Ejemplares adultos de la almeja *Semele solida*, se acondicionaron para la maduración de las gónadas, con el fin de realizar ensayos de reproducción. Se evaluaron dietas a base de dos microalgas: *Isochrysis galbana* var. *tahitiana* y *Chaetoceros gracilis*, cuyas densidades promedio alcanzaron $1,8 \times 10^6$ células/mL.

30.3 CULTIVO DE ALIMENTO VIVO

Se realizó la producción masiva de las microalgas *Isochrysis galbana* y *Chaetoceros gracilis* para alimentación de reproductores y larvas de la almeja *Semele solida*, con una producción diaria de 160 L; *Nannochloropsis* sp. con una producción semanal de 800 L, para el cultivo de rotíferos, copépodos y *Artemia*, así como

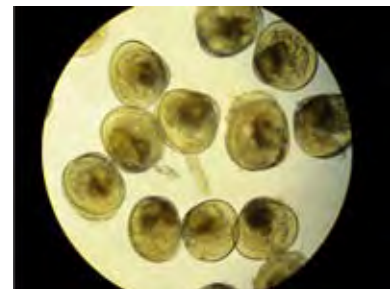


Figura 30.3.- Larvas pediveliger de “almeja”

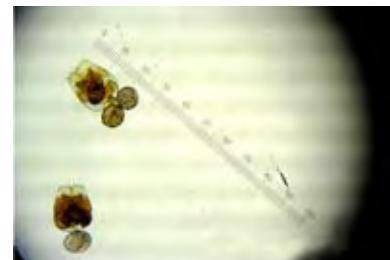


Figura 30.4.- Rotíferos aislados de ambiente natural.

uso de “agua verde” para cultivo de larvas de peces.

Como alimento de larvas de peces se aislaron rotíferos y copépodos nativos, para realizar su cultivo masivo. Los rotíferos (Figura 30.4) fueron producidos en monocultivo, y se obtuvieron densidades de 100/mL; y en cultivo mixto con copépodos, se alcanzaron iguales densidades.

En monocultivo de copépodos, se alcanzó densidades de 50/mL. Los nauplios o larvas de copépodos acabados de emerger también son importantes como primer alimento en larvas de peces.

OBJETIVO ESPECÍFICO 31

INVESTIGACIONES EN PATOBIOLOGÍA Y SANIDAD ACUÍCOLA A NIVEL NACIONAL

31.1 PATOBIOLOGÍA ACUÁTICA

Parásitos en especies comerciales provenientes del Callao.- Se muestrearon 201 especímenes de ocho especies de peces: *Engraulis ringens* "anchoveta" (26), *Coryphaena hippurus* "perico" (4), *Cheilodactylus variegatus* "pintadilla" (2); *Isacia conceptionis* "cabinza" (26), *Odontestes regia regia* "pejerrey" (120), *Sarda sarda chilensis* "bonito" (2), *Sciaena deliciosa* "lorna" (4), *Trachurus symmetricus murphy* "jurel" (17).; y cuatro ejemplares del molusco *Dosidiscus gigas* "pota".

La prevalencia de parásitos fue:

- Protozoo: *Kudoa sarmientoi*: 60% en los músculos somáticos del pejerrey.
- Nematode: *Anisakis* sp.: 12% en jurel, 25% en perico y 50% en pota.
- Larvas del céstode pseudofilídeo: 4% en anchoveta.
- Larvas del céstode *Tentacularea coryphaenae*: 75% en pota y 100% en bonito y en perico.
- Copépodo: *Lernanthropus* sp.: 18% en jurel y 50% en pintadilla.
- Isópodo: *Meinertia* sp.: 29% en jurel.
- Trematode monogeneo: *Pseudanthocotyloides* sp.: 12% en anchoveta, 69% en cabinza y 100% en lorna.

Patógenos en el cultivo experimental de lenguado *Paralichthys adspersus*.- En octubre y noviembre tres especímenes examinados mostraban la piel oscura, caquexia y aletargamiento. Los causantes de estos signos patológicos podrían ser dos parásitos:



Figura 31.1.- Copépodo. *Acanthocondria* sp.

(1) El copépodo *Acanthocondria* sp.: (Figura 31.1) hallado en gran cantidad en las branquias. (2) El protozoo *Trichodina* sp. ciliado peritrico, en gran cantidad tanto en piel como en branquias.

31.2 DIAGNÓSTICO SANITARIO DE PISCIGRANJAS DE TRUCHAS DEL VALLE DEL MANTARO

En noviembre y diciembre se realizaron muestreos sanitarios. Los resultados fueron:

Primer viaje

- Piscigranjas "La Cabaña" y "Gruta Milagrosa".- No se hallaron microorganismos patológicamente significativos.

- Piscigranja "La Barca".- En 7 de las 8 cepas aisladas de heridas internas y de "pool" de órganos internos, el análisis microbiológico reveló la presencia de *Yersinia ruckeri*. Una cepa aislada de las branquias fue identificada como *Flavobacterium branchiophylum*.

- Centro Piscícola "El Ingenio".- Se aislaron las bacterias: *Aeromonas salmonicida* (4 cepas); *Aeromonas hydrophila* (7 cepas); *Lactococcus* (1 cepa) y *Yersinia ruckeri* (4 cepas).- El hongo predominante fue *Ichthyophonus hoferi*.

- Jaulas de truchas en la laguna "Tranca Grande".- Se hallaron las bacterias: *Yersinia ruckeri* en órganos internos (2 cepas) y en una herida en la boca (1 cepa); *A. hydrophila* de branquias (1), lesiones externas (2) y de órganos internos (1); *A. salmonicida* de branquias (2).

Segundo viaje

- Piscigranja "Acopalca".- En truchas adultas se encontraron problemas patológicos causados por *Yersinia ruckeri* en dos pools de branquias y órganos internos.

- Piscigranja "La Cabaña".- (a) En alevinos se halló: *Yersinia ruckeri* en branquias, y *Pseudomonas* sp. en órganos internos. (b) En juveniles, *Aeromonas salmonicida* en branquias.

- Piscigranja "El Ingenio".- Se aislaron varias especies de bacterias: en branquias *Aeromonas hydrophila* y *Pseudomonas* sp.; ulceraciones en piel: *Aeromonas hydrophila*, *A. salmonicida* y *Pseudomonas* sp.; y en órganos internos, el hongo *Ichthyophonus hoferi*.

- Piscigranja "Arco Iris".- (a) En alevinos se halló: *Aeromonas hydrophila*, *Pseudomonas* sp. y *Yersinia ruckeri*, en branquias y órganos internos. (b) en juveniles, *Yersinia ruckeri* en órganos internos; (c) en adultos, *Yersinia ruckeri* en branquias y órganos interos.:

- Jaulas flotantes de la laguna "Tranca Grande".- (a) En juveniles, *Pseudomonas* sp. En branquias y *Yersinia ruckeri* en órganos internos. (b) en adultos, *Pseudomonas* sp. en branquias y órganos internos.

31.3 LABORATORIO DE SANIDAD ACUÍCOLA, TUMBES

En el año 2007, se desarrollaron dos actividades importantes:

31.3.1 Monitoreo y vigilancia epidemiológica de los principales patógenos que afectan a los cultivos de langostinos,- Se realizaron dos tipos de estudio:

(a) Prevalencia y distribución de la bacteria causante de la enfermedad de la Necrosis del Hepatopáncreas (NHPB, en inglés) en estanques de cultivo intensivo de *Penaeus vannamei* (Tabla 31.1). En la Tabla 31.2 se presenta el número de muestras por langostinera y la prevalencia de la NHPB encontrada en cada ciclo de cultivo. Las empresas

Fragata y Marinazul se mostraron libres de la NHPB a lo largo de los monitoreos. Independientemente de la fecha o estación del año, la bacteria de la NHPB estuvo presente en los cultivos, esto fue más notorio en la langostinera "A" donde las muestras colectadas fueron positivas por PCR para la NHPB en todas las campañas de cultivo.

Tabla 31.1.- Prevalencia global a la NHPB encontrada en las diferentes langostineras durante febrero-diciembre 2007.

Langostinera	Positivos a NHPB	Ejemplares Analizados	Prevalencia (%)
A	29	238	12.18
B	28	476	5.88
C	4	349	1.15
D	3	376	0.80
E	3	539	0.56
F	1	177	0.56
G	1	538	0.19
H	0	454	0.00
I	0	213	0.00
	69	3360	2.05

Tabla 31.2 - Prevalencia a la NHPB encontrada en las diferentes langostineras con cultivo intensivo y por campaña de cultivo.

Empresa	Campaña	Densidad de siembra (indv/m ²)	Positivos	Nº de Muestras	Prevalencia (%)
G	Primera	100	0	191	0,00
	Segunda	100	1	163	0,61
	Tercera	120	0	184	0,00
H	Primera	SD	SD	SD	SD
	Segunda	120	0	221	0,00
	Tercera	120	0	233	0,00
C	Primera	80	4	225	1,78
	Segunda	SD	SD	SD	SD
	Tercera	150	0	124	0,00
A	Primera	SD	5	121	4,13
	Segunda	SD	5	54	9,26
	Tercera	SD	19	63	30,16
E	Primera	80	0	199	0,00
	Segunda	80	0	156	0,00
	Tercera	80	3	184	1,63
B	Primera	100	28	150	18,67
	Segunda	100	0	188	0,00
	Tercera	100	0	138	0,00
D	Primera	90	1	148	0,68
	Segunda	90	2	153	1,31
	Tercera	150	0	75	0,00
I	Primera	SD	SD	SD	SD
	Segunda	SD	SD	SD	SD
	Tercera	80	0	213	0,00
F	Primera	SD	SD	SD	SD
	Segunda	SD	SD	SD	SD
	Tercera	200	1	177	0,56
Año 2007			69	3360	2,05

b) Vigilancia epidemiológica del virus de la Mionecrosis Infecciosa (IMNV) en poblaciones silvestres de *Penaeus vannamei* y *Penaeus stylirostris*.- Se analizó un total de 2407 ejemplares (1477 de *P. vannamei* y 930 a *P. stylirostris*, colectados en esteros o canales de marea (El Bendito, La Envidia, Soledad, El Algarrobo y Matanzas), todos los resultados fueron negativos, indicando que la población silvestre bajo estudio se encontraba libre de este patógeno.

31.2.2 Servicios de diagnóstico de patologías que atacan a los langostinos bajo cultivo.

El diagnóstico de enfermedades para el sector langostinero, tiene la finalidad de detectar patologías que puedan presentarse durante la fase de cría y engorde en los estanques de cultivo. El conocimiento oportuno permite la aplicación de los correctivos pertinentes.

Mediante la certificación previa al ingreso al país de organismos para el cultivo (nauplios, postlarvas, reproductores, etc.), se asegura que estén libres del virus de la mancha blanca y de la cabeza amarilla.

También se verificó la ausencia de cloranfenicol en muestras de langostinos frescos y congelados, procedentes de diferentes empresas empacadoras que existen en Tumbes, garantizando su exportación.

OBJETIVO ESPECÍFICO 32

INVESTIGACIONES PARA EL DESARROLLO ACUÍCOLA NACIONAL: EVALUACIÓN EN ÁREAS APTAS CON FINES ACUÍCOLAS Y REPOBLAMIENTO

32.1 POTENCIALIDADES PARA EL APROVECHAMIENTO ACUÍCOLA Y ÁREA DE MANEJO EN LA CALETA CHÉRREPE, LAMBAYEQUE

Se obtuvieron resultados favorables con el cultivo de "choritos" *Semimitylus algosus* en sistema de cultivo suspendido empleando balsas de madera instaladas a 1 km de la costa. Con esta experiencia se demuestra que la infraestructura flotante instalada a esa distancia no es afectada por las corrientes ni el fuerte

oleaje, característicos de esta ensenada. El incremento de peso fue proporcionalmente mayor con respecto a la longitud. El peso incrementó de 4,71 g a 9,44 g en nueve meses.

Las balsas flotantes (Figura 32.1) consistieron en un entarimado de madera de eucalipto con un área total de 24 m² montados sobre 4 cilindros de plástico como sistema de flotación. La balsa estaba sujeta mediante cabos de nylon a 4 "muertos",

lastres o anclajes de 300 kg para evitar su desplazamiento. Periódicamente se revisaban los anclajes y se realizaba una limpieza de incrustantes.

Inicialmente, se extrajo la semilla del medio natural, que son "choritos" adheridos a las rocas de la ensenada; pero para no depender de ello se colocaron, en la balsa, colectores para capturar la semilla de estos mitflidos.



Figura 32.1.- Cultivo suspendido de "choritos" en la Ensenada de Chérrepe, Lambayeque

OBJETIVO ESPECÍFICO 33

DESARROLLO DE TÉCNICAS DE REPRODUCCIÓN ARTIFICIAL DE MOLUSCOS NATIVOS DE LA REGIÓN MOQUEGUA

33.1 LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN EN MOLUSCOS (LIM)

El Laboratorio de Investigación de Moluscos (LIM) cuenta con dos líneas de investigación: (i) Cultivo de Microalgas y (ii) Cultivo de Moluscos.

El cultivo de microalgas tiene por objetivo la producción de alimento vivo para las diferentes etapas de desarrollo de los organismos acuáticos.



Figura 33.1.- Cultivo masivo de microalgas

Actualmente el LIM cuenta con 8 cepas, de las cuales se han desarrollado las etapas de cepa, cultivo inicial, cultivo intermedio y cultivo masivo de tres especies: *Isochrysis galbana*, *Chaetoceros gracilis* y *Pavlova lutherii*, por ser consideradas como el mejor alimento para los filtradores de importancia comercial. Se ha logrado llegar hasta nivel masivo controlado (150 L) (Figura 33.1).

El cultivo de moluscos tiene por objetivo la obtención, en condiciones controladas, de semillas de los organismos bentónicos nativos de la zona.

Se ha desarrollado la fase preoperativa del laboratorio, implementando la tecnología de cultivo de "concha de abanico" (*Argopecten purpuratus*), con el propósito de probar los sistemas y adiestrar al personal técnico del LIM en procedimientos de cultivo bajo condiciones controladas y manejo de equipos.

A partir de esta experiencia, se ha obtenido: (i) el mantenimiento y acondicionamiento de reproductores procedentes de la bahía de Ilo y de Pucusana, (ii)

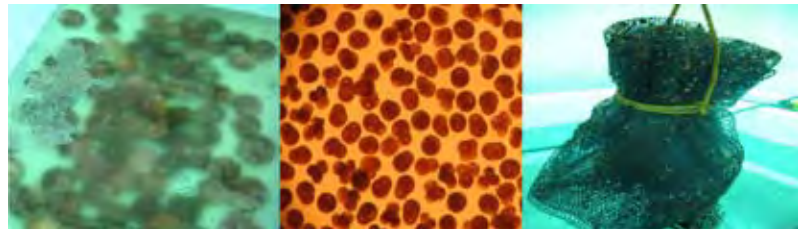


Figura 33.2.- Inducción al desove, embriones, semilla fijada

inducción al desove, (iii) obtención de gametos viables para su fertilización, (iv) manejo del desarrollo embrionario, larvario, etapa de metamorfosis, fijación de larvas pediveliger y postlarvas fijadas en mallas netlon (Figura 33.2). Todo ello ha logrado capacitar personal para obtener semillas de "concha de abanico" en el laboratorio, trasladarlas al medio natural; y posteriormente, iniciar la etapa o fase operativa con especies bentónicas nativas de la región.

Mensualmente, se registraron los principales parámetros oceanográficos, físicos (temperatura), químicos (salinidad, oxígeno disuelto) y biológicos (plancton) que influyen en el crecimiento, desarrollo, mortalidad, disponibilidad alimentaria, etc., de la especie ensayada, en la zona de emplazamiento de la línea de

cultivo suspendido (long line) que contenía ejemplares reproductores y en el último trimestre semillas obtenidas en el LIM. Según los resultados obtenidos, la zona donde se ha ubicado la long line, en la concesión de la Asociación de Pescadores Artesanales Cruz de Picata, Ite, Tacna (Punta Picata), existen las condiciones idóneas para el desarrollo del cultivo de "concha de abanico"

La conservación de una línea de cultivo suspendido en el medio natural, implica una logística para elaborar aparejos adaptados a las tallas de las semillas y realizar el mantenimiento y custodia en forma periódica del long line. Mensualmente el personal técnico, a bordo de la embarcación "El Pionero" visitó la zona de emplazamiento del sistema, para efectuar el reflote,



Figura 33.3.- Long line, linterna y boyas

limpieza y, en algunos casos, reemplazo de los elementos que la conforman (boyas, linternas, línea madre, etc.) (Figura 33.3).

Una actividad complementaria y fundamental que se realiza en el LIM, es el mantenimiento preventivo mensual de los equipos existentes en las diferentes

instalaciones del laboratorio, referidas primordialmente a los componentes del sistema hidráulico: toma de agua, electrobombas, blowers, tanque de sedimentación, tanque elevado, filtros de arena, filtro de tierra de diatomeas, etc.. Esta actividad mensual de conservación, evita un mantenimiento correc-

tivo por deterioro o avería del equipo, que generalmente resulta más costoso en un "hatchery". Adicionalmente, a lo largo del año, se ha realizado una serie de modificaciones de los sistemas, que ha optimizado las condiciones de cultivo tanto de microalgas como de moluscos.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN III.2

ESTUDIOS EN BIOTECNOLOGÍA ACUÁTICA

OBJETIVO ESPECÍFICO 34

FORMACIÓN DEL BANCO DE GERMOPLASMA ALGAL

Esta línea de investigación, establecida desde hace dos años, está en constante búsqueda de nuevos proyectos que contribuyan al desenvolvimiento de estudios relacionados con biorremediación, manipulación genética, biotoxinas, obtención de antioxidantes, biocombustible, entre otros de interés biotecnológico.

Para el 2007 se propuso desarrollar tres actividades:

1. Mantenimiento del banco de germoplasma de organismos acuáticos.- Los logros obtenidos han permitido que el laboratorio amplíe el número de cepas de artemias y rotíferos como consecuencia de las colectas de campo. Además, a la fecha, contamos con cepas de rotíferos de la costa norte del país, obtenidas por el Laboratorio de Biología Experimental y transferida al Banco de Germoplasma. La Universidad de Valencia, España nos apoyó con el estudio

molecular y filogenético de dos cepas de rotífero con las que cuenta actualmente el Banco de Germoplasma.

2. Estudios de microalgas potencialmente toxigénicas.- Otro aspecto importante, ha sido la obtención de cultivos unialgales de microalgas potencialmente carotenogénicas de la zona costera del Perú. Se han obtenido tres cepas entre las lagunas de Chilca y de Casma. Este material está siendo empleado para los estudios a los cuales se dedica el Laboratorio, así como para publicaciones y una tesis de posgrado.

3. Estudio bioquímico de las algas marinas del Callao.- En relación al estudio de Floraciones Algas Nocivas (FAN), actualmente contamos con tres cepas de microalgas potencialmente tóxicas: *Heterosigma akashiwo*, *Prorocentrum minimum* y *Alexandrium peruvianum*. Al respecto, se han realizado estudios de

adaptación y capacidad de carga con *H. akashiwo* para obtener pasta y realizar los análisis ficológicos y estudios moleculares.

Los estudios de macroalgas de la isla San Lorenzo, este año, se orientaron a elaborar un pequeño documental relacionado con la flora y fauna subacuática de la zona, la misma que se encuentra en su etapa final de elaboración.

Durante dos años se ha buscado información bibliográfica y pequeños ensayos a nivel de laboratorio, sobre la potencialidad de las microalgas acumuladoras de compuestos lipídicos empleados en la producción de biocombustibles.

En el 2007, el tema en cuestión ha sido respaldado por el BID y la PCM, y otro mediante un convenio interno entre la entidad y una empresa privada. Se proyecta darles inicio entre fines del 2007 e inicios del 2008.

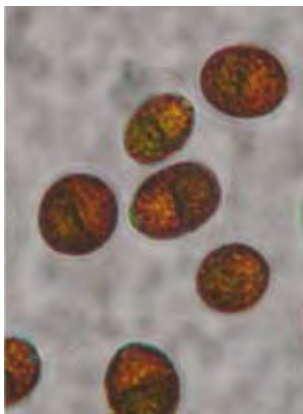


Figura 34.1.- Cepa de la microalga *Dunaliella salina*

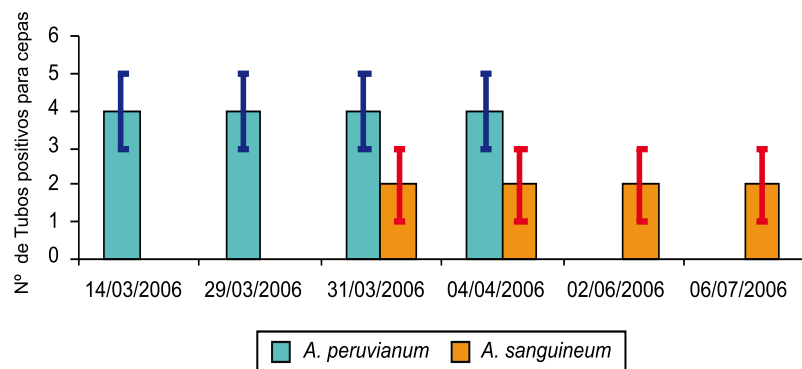


Figura 34.2.- Fechas de colecta en el mar del Callao (año 2006) y número de tubos trabajados que dieron positivo para el proceso de obtención de cepas, luego del lavado de células.

OBJETIVO ESPECÍFICO 35

INVESTIGACIONES EN FLORACIONES ALGALES NOCIVAS

El trabajo continuo y sistemático conjuntamente realizado con el Instituto Tecnológico Pesquero ha permitido tener información relevante acerca de la presencia, distribución y concentración de las especies nocivas *Pseudonitzschia cf. delicatissima*, *Ps. pungens*, *Dinophysis caudata*, *D. acuminata*, *D. tripos* y *D. rotundata*, asociadas a los cambios ambientales durante el año 2007.

En el verano hubo abundancia relativa de los dinoflagelados *D. caudata*, *D. acuminata* y *Protoperidinium depressum*. La distribución de las diatomeas fue amplia, asociada a la TSM entre 17,1 y 26,1 °C (marzo); en el otoño (TSM 14,5 a 21,4 °C) se observó el incremento de las diatomeas potencialmente tóxicas en Chuccho, Tres Puertas y Canastones (Bahía Independencia). En invierno (TSM, 13,5 a 16,9 °C) se mantuvo la tendencia a la disminución tanto a nivel de abundancia relativa como a cambios en la frecuencia de distribución de los organismos potencialmente tóxicos. En la primavera (TSM 14,8 a 19,8 °C), desde la segunda quincena de setiembre, se observó un incremento en la riqueza de especies potencialmente tóxicas.

35.1 MAREAS ROJAS INOCUAS

IMARPE posee el registro de las especies productoras de mareas inocuas, el área geográfica, coloración, extensión y su tiempo de permanencia. Entre las especies responsables, consideradas inocuas, se hallaron dinoflagelados (*Akashiwo sanguinea*, *Noctiluca scintillans*, *Prorocentrum cf. minimum*, *P. gracile*, *Ceratium furca* y *C. dens*); fitoflagelados (*Eutreptiella gymnastica*, *Heterosigma akashiwo* y *Olisthodiscus luteus*);

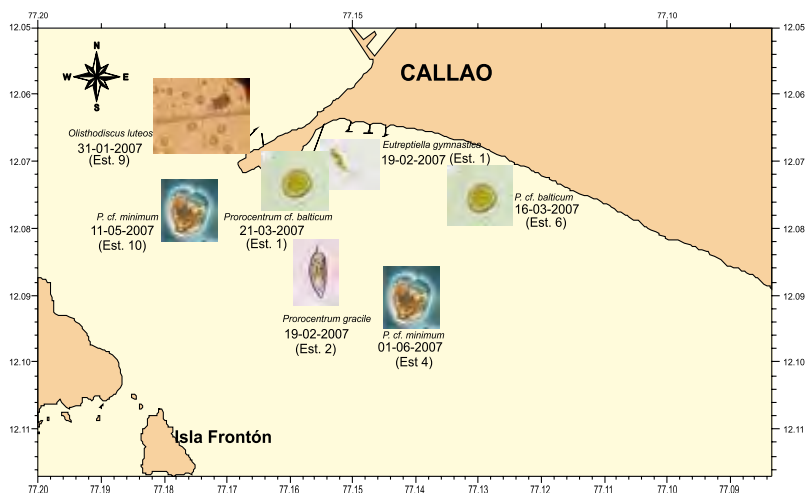


Figura 35.1.- Marea Roja en Carpayo, Callao. Las especies causantes se registraron de enero a junio, en diferentes estaciones de observación. *Olisthodiscus luteus* (31 enero); *Prorocentrum gracile* y *Eutreptiella gymnastica* (19 febrero) *Prorocentrum cf. balticum* (16 y 21 de marzo); *Prorocentrum cf. minimum* (11 de mayo y 1 junio).

el ciliado fotosintetizador *Mesosodinium rubrum* y el silicoflagelado *Dictyocha fibula*. La densidad máxima encontrada fue de 36x10⁶ cel./L.

En el verano, a diferentes latitudes, se registraron varazones o muerte de bivalvos: *Donax* sp. "palabritas" en Jaguay (zona centro) y *Argopecten purpuratus* "concha de abanico", en la bahía de Paita (zona norte).

En el otoño se determinó una reducción en la frecuencia de mareas rojas inocuas debido a la disminución de la TSM. Sin embargo, se registraron algunos eventos puntuales ocasionados por *Olisthodiscus luteus* (31 enero); *Prorocentrum gracile* y *Eutreptiella gymnastica* (19 febrero) *Prorocentrum cf. balticum* (16 y 21 de marzo); *Prorocentrum cf. minimum* (11 de mayo y 1 junio) (Figura 35.1). El rango de TSM fue entre 15,5 y 21,5 °C.

En la primavera (noviembre) se registraron mareas rojas inocuas producidas por el fitoflagelado *Heterosigma akashiwo*, tanto en

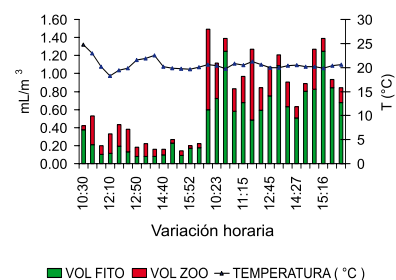


Figura 35.2.- Variación horaria de los volúmenes de plancton (mL/m³), en la bahía de Miraflores, Playa Carpayo (marzo 2007)

Paracas como en el Callao.

35.2 MONITOREOS HORARIOS DE LAS MAREAS ROJAS

Este monitoreo fue realizado en la playa Carpayo (16 – 21 marzo). En la Figura 35.2 se grafican los resultados, y puede apreciarse una variabilidad horaria del fitoplancton entre la mañana y la tarde, destacándose una íntima relación con sus parámetros físico-químicos, los cuales modulan las condiciones oceanográficas del sistema, determinando la conducta de ésta en escalas de corto periodo de término.