

COMPORTAMIENTO OCEANOGRÁFICO DEL MAR PERUANO

Por:

Ing. Luis Pizarro Pereyra

Instituto del Mar del Perú

INTRODUCCIÓN

El área marina frente a la costa peruana presenta características muy particulares, originadas principalmente por el complejo sistema de corrientes superficiales y subsuperficiales, asociadas a la variación zonal y temporal de los afloramientos costeros, los mismos que son favorecidos por la intensificación de los vientos alisios del sureste.

Estas características particulares pueden cambiar drásticamente ante la presencia de eventos cálidos "El Niño" (EN), los que según su intensidad pueden originar anomalías térmicas de hasta 10 °C sobre el promedio multianual, como lo sucedido en los EN 1982-83 y 1997-98, lo que pueden tener efectos dramáticos, principalmente en la pesquería peruana y en el clima continental, desatándose grandes inundaciones por exceso de lluvias.

También los eventos fríos o "La Niña" causan sus efectos, pero opuestos a los EN, debido a que las aguas frías del afloramiento, ricas en nutrientes, fertilizan el medio, elevando la productividad biótica, ampliándose las zonas de alta productividad, posibilitando el desarrollo de grandes poblaciones de peces, principalmente de la anchoveta, especie que sustenta la pesquería más importante del país, por otro lado, afecta al continente con temperaturas muy bajas principalmente en el invierno.

El presente trabajo trata de resumir las principales características del ambiente marino frente a la costa peruana, en base a cartas promedio mensuales y estacionales de los principales parámetros oceanográficos, tratando especialmente los eventos cálidos y fríos de mayor repercusión en el Pacífico Oriental, haciendo referencia también a las fronteras físicas en las que se encuentran enmarcadas las aguas del mar peruano, así como a los vientos predominantes.

Aspectos Meteorológicos

La presión atmosférica es un elemento del tiempo y del clima y es definida como la fuerza ejercida por el aire en una unidad de área debido al peso de la atmósfera y es la misma en todas las direcciones alrededor de un punto.

Las unidades que se utilizan para la evaluación de la presión es el milibar y el hecto-Pascal.

1 milibar = 100 Newton = 10^{-3} bares = 100 hPa.
m²

De aquí que la presión atmosférica a nivel del mar es igual a 30 pulgadas o 760 mm de mercurio o P= 1013,25 mb o 1013,25 hPa.

En meteorología esta unidad, denominada el milibar (mb), es igual a 1000 dinas de fuerza por centímetro cuadrado. Una presión de 1013 mb es equivalente a la presión de 1 atm, la cual es igual a la presión ejercida por una columna de mercurio de 760 mm. Las diferencias de la presión atmosférica que vemos día a día y de una región a otra de la Tierra, se derivan principalmente de las diferencias relativas de temperatura de la atmósfera. El aire frío y denso tenderá a producir presiones atmosféricas más altas que el aire cálido, menos denso.

" La tasa de cambio de la presión atmosférica entre dos localidades de la superficie terrestre se denomina gradiente atmosférico de presión. Dicho gradiente origina un movimiento horizontal de aire, o mejor dicho, genera viento.

La dirección del viento es de las regiones de alta presión a las de baja, y su velocidad está relacionada a la velocidad del gradiente de presión. Junto con los movimientos verticales de aire

que los acompañan, estos vientos horizontales conforman el sistema de circulación atmosférica terrestre. Mientras haya diferencias de temperatura en la superficie de la Tierra habrá diferencias de presión en la atmósfera y, por ende, circulación atmosférica.

El aire se eleva sobre las áreas de baja presión, en tanto que sobre las de alta presión desciende y diverge sobre la superficie terrestre.

Regiones de alta presión existen sobre el frío continente Antártico, sobre el Ártico y en las latitudes sub tropicales (25° a 35° de latitud) sobre los océanos de ambos hemisferios.

Estas Altas Presiones (llamados Anticiclones) son accidentes relativamente permanentes de la atmósfera de nuestro planeta. En el Hemisferio Norte, la circulación sobre los centros de Alta es en dirección de las manecillas del reloj. En el Hemisferio Sur esta circulación es en dirección contraria a las manecillas del reloj.

Por contraste, la circulación alrededor de los sistemas de Baja Presión, Bajas (también conocidos como Ciclones), es en dirección opuesta a los Altas de un hemisferio determinado. O sea, en contraria al movimiento de las manecillas del reloj en el Hemisferio Norte y tal como las manecillas en el Sur. Si un gran cuerpo de aire reposa por un tiempo sobre una región como la de alta presión del Ártico canadiense, adquiere la temperatura y las características de humedad de la región de origen. Si el aire se vuelve relativamente homogéneo horizontalmente se le conoce como una masa de aire. Grandes áreas de agua o de tierra que tienen una insolación bien distribuida, como las regiones de alta presión, se desempeñan bien como regiones de desarrollo para las masas de aire.

Las masas de aire desarrolladas en las regiones polares y tropicales convergen una sobre otra en las regiones de latitudes medias del mundo. Cuando estas masas de aire de diferentes temperaturas y humedad se encuentran, tienden a no mezclarse fácilmente. El límite, entre una masa de aire cálida y húmeda y una fría y seca es inclinado.

FRONTERAS FÍSICAS DEL OCÉANO

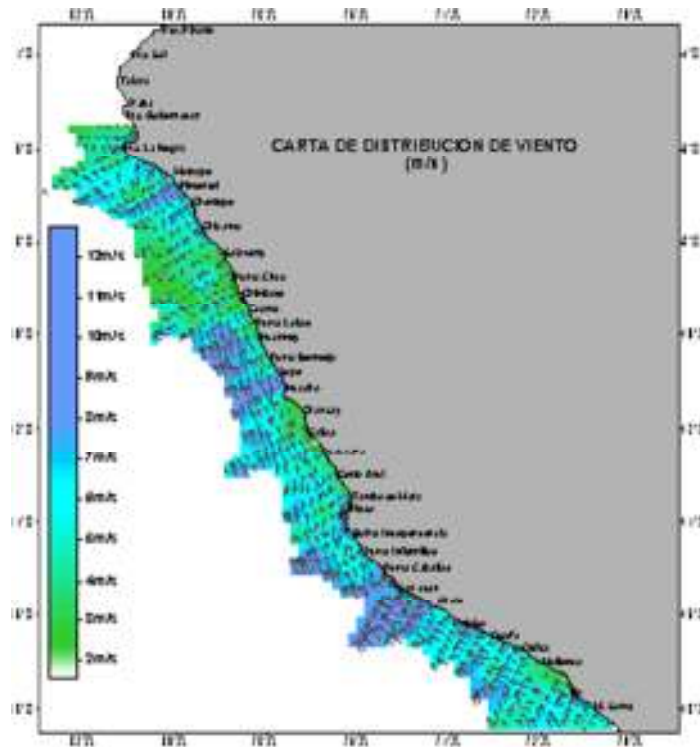
Aspectos Topográficos del Mar Peruano

La costa del Perú es el resultado de transgresiones y regresiones geológicas muy pronunciadas a través del tiempo, las mismas que han configurado el perfil actual de la línea costera.

La línea de costa se encuentra comprendida entre las latitudes 03°24' y 18° 20.8' S, que corresponde los límites entre las fronteras de Perú con Ecuador (Punta Capones) y con Chile (Hito Concordia), su extensión alcanza algo más de 1 200 mn.

La orientación de la línea costera varía entre el S y SE, a excepción de una pequeña porción al norte de Cabo Blanco, que presenta orientación SO. Al sur de los 06° S la línea costera es aproximadamente paralela a la dirección de los vientos alisios del SE, especialmente al sur de Pisco, lo que es importante para la generación del afloramiento costero y la orientación de la Corriente Costera Peruana.

En lo que concierne al tipo de sedimento del fondo, Delgado et al (1987) describen que son los sedimentos arenosos los que predominan en la mayor parte de la amplia plataforma entre los 7 y 10°30', y forman parches costeros hacia el sur. La arcilla limosa cubre casi todo el talud continental y gran parte de la plataforma al sur de los 10°30' S, al norte de esta latitud forma algunos parches costeros.



EL SISTEMA DE VIENTOS

Los vientos predominantes frente a la costa peruana son los alisios del SE, que son gobernados por el anticiclón del Pacífico Sur, estos vientos se proyectan hacia el NO (de zonas de alta presión subtropical, a zonas de baja presión ecuatorial), siendo más intensos en el invierno y más débiles en el verano del Hemisferio Sur, presentan velocidades medias hasta algo más de 5 m/s (aprox. 10 nudos).

Entre Pisco - San Juan los vientos son más intensos y persistentes, alcanzando en muchas oportunidades velocidades mayores de 10 m/s; al norte de los 6° S se presentan vientos más variables, con direcciones del S y SO en las cuatro estaciones del año.

Cerca de la costa, o dentro de las bahías, se presentan esporádicamente con muy corta duración, los denominados vientos locales, los que se manifiestan con dirección contraria a los alisios del SE.

VARIACION DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA DE MAR

El agua de mar es una solución de sales, por lo que sus propiedades físicas son muy diferentes de las del agua dulce y varían de acuerdo a la cantidad de sales que contenga.

Las propiedades del agua de mar se pueden agrupar en conservativas y no-conservativas. Entre las primeras tenemos principalmente la temperatura y salinidad. Las no conservativas son aquellas como el oxígeno, el fosfato, silicato, nitrato etc., que están sujetas a grandes cambios por efecto de fenómenos atmosféricos, procesos químicos y bioquímicos.

Temperatura

La distribución de la temperatura en los océanos es uno de los factores que controlan la distribución de organismos marinos y la densidad del agua de mar. Se puede destacar que la temperatura interviene directamente en el establecimiento de la distribución de las masas de agua en el océano, por cambios de densidad, disponiendo las menos densas y calientes arriba y las mas densas y frías abajo.

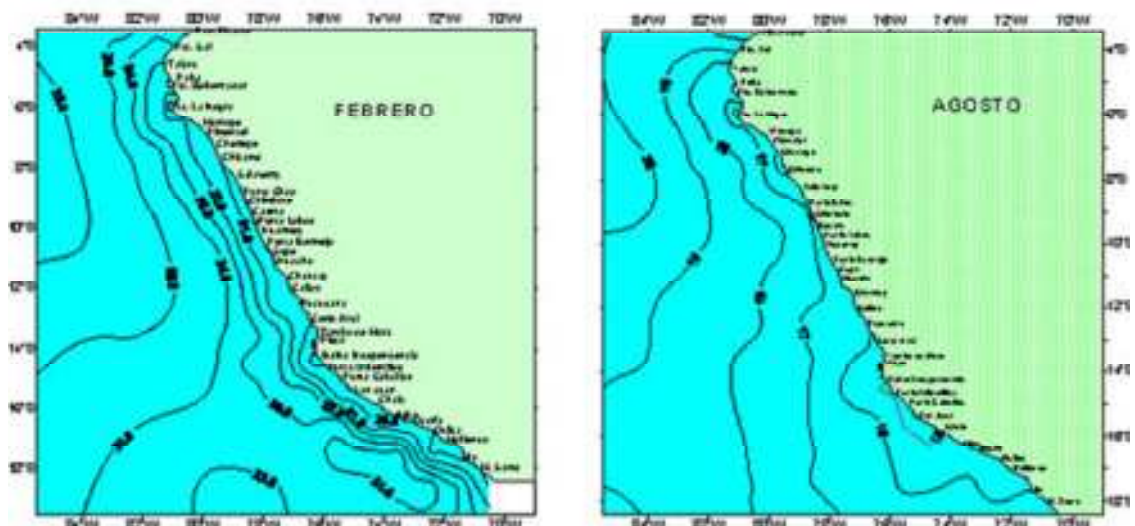
También el conocimiento del balance térmico en el mar permite entender la distribución de las comunidades de organismos tanto en las aguas poco profundas como en las profundidades. Los

organismos pueden ser euritermos (los que pueden vivir dentro de límites amplios de temperatura) y estenotermos (los que pueden tolerar variaciones muy limitadas de temperatura)

Debido a su capacidad calórica del agua de mar, la temperatura en el mar varía mucho menos que la terrestre, consecuentemente, el mar provee un ambiente estable para la vida marina y una gran influencia sobre el clima costero. Frente a la costa peruana las temperaturas presentan cambios estacionales bien marcados, con altos valores en el verano y bajos en el invierno, generalmente se elevan hacia el ecuador y hacia el oeste, dando lugar a gradientes zonales y latitudinales principalmente en el verano, cuando las mayores temperaturas se proyectan hacia el sur y hacia la costa o zonas de afloramiento.

En febrero y marzo se registran las máximas temperaturas del año, alcanzando valores de 25 y 26 °C por fuera de las 150 mn y al norte de los 14° S, mientras que las temperaturas mínimas se registran principalmente en los meses de agosto y setiembre dentro de las 50 mn con valores de 13 y 17°C, debido a la intensificación de los vientos y del afloramiento costero, en estos meses las isotermas rompen el paralelismo a la costa observada en la estación de verano, dando lugar a una dispersión mucho más notoria al sur de los 10° S.

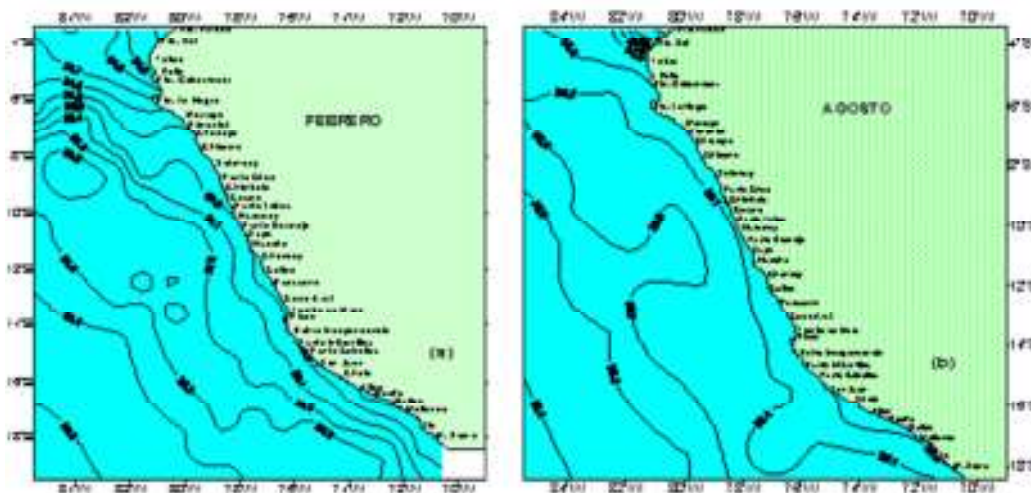
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL DE LA SUPERFICIE DEL MAR (°C)



Salinidad

La salinidad, al igual que la temperatura es uno de los parámetros conservativos de gran importancia para la distribución y concentración de los recursos vivos del mar; por lo general varía con la latitud geográfica, la estación del año y las corrientes siendo los procesos que la afectan principalmente la evaporación, la precipitación, el escurrimiento, la fusión del hielo, el congelamiento, las corrientes, aunque también intervienen el calentamiento, el enfriamiento, la condensación y la topografía del fondo.

SALINIDAD MEDIA MENSUAL DE LA SUPERFICIE DEL MAR (ups)



Como término medio el mar peruano presenta concentraciones de 35.6 a 33.2 ups y 35.4 a 33.8 ups en verano e invierno respectivamente, las altas salinidades proceden de la región subtropical, zona de gran evaporación, mientras que las mínimas de la región tropical, donde predomina la precipitación.

En el verano se registra una gran aproximación de las altas salinidades de la región subtropical hacia la costa, mientras que las bajas concentraciones de las Aguas Ecuatoriales y Tropicales avanzan hasta aproximadamente los 6° S, replegando cerca de la costa a las Aguas Costeras Frías relacionadas con el afloramiento.

En el invierno, la mayor intensidad de los vientos da lugar a una intensificación del afloramiento costero, la capa de salinidades moderadas (34.9 - 35.0 ups) se extiende hacia el oeste y norte, lo que da lugar a un repliegue de las Aguas Ecuatoriales y Tropicales hacia el norte y las Aguas Subtropicales hacia el oeste.

MASAS DE AGUA

El océano está formado por un conjunto de masas de agua de características fisicoquímicas diferentes, presentan movimientos regulares e influyen en una gran variedad de procesos oceánicos, en especial en la producción y modificación de las corrientes.

El término Masas de Agua se utiliza para definir volúmenes de agua, caracterizadas por presentar rangos de temperaturas, salinidades y nutrientes más o menos uniformes, tomando el nombre de la región de origen o formación; las fluctuaciones latitudinales o longitudinales de estas masas de agua. Las características que tienen las masas de agua, y en especial la temperatura y salinidad, son adquiridas mientras la masa de agua se encuentra en la superficie sometida a la acción de procesos que afectan estas propiedades, y espesor eso que considera como agua reciente a la vez que se considera a las aguas de las grandes profundidades como aguas antiguas.

La costa peruana, por su situación geográfica está mayormente influenciada por aguas saladas de la región subtropical denominadas Aguas Subtropicales Superficiales, pero las que le dan una característica especial al mar peruano son las Aguas Costeras Frías, principalmente por su baja temperatura y alto contenido de nutrientes; estas aguas son resultado del flujo de la Corriente Costera Peruana y su mezcla con las aguas del afloramiento costero. También se presentan aguas de baja salinidad, las que provienen de la región ecuatorial-tropical, a las que se les denomina Aguas Ecuatoriales Superficiales y Aguas Tropicales Superficiales.

Aguas Subtropicales Superficiales (ASS), se extienden por fuera de la influencia de la Corriente Costera Peruana a lo largo de la costa peruana, con grandes fluctuaciones horizontales y verticales en las cuatro estaciones del año, se presentan con temperaturas y salinidades mayores de 17°C y 35.1 ups y profundidades variables, de hasta 50 m en condiciones normales.

Aguas Costera Frías (ACF), se ubican a lo largo de la franja costera y hasta aproximadamente las 20-30 mn de la costa en verano y de hasta 50-60 mn en invierno, están relacionadas con la CCP y al afloramiento, se caracterizan por presentar temperaturas de 14 a 18°C y salinidades entre 34.9 y 35.0 ups, aunque al sur de los 15° S pueden aflorar aguas de hasta 34.8 ups cuando las Agua Templadas de la Subantártica se encuentran próximas a la superficie.

Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES), las que comúnmente en el verano se ubican al norte de los 06°S, replegándose hacia el norte en invierno, presentan temperaturas entre 19 y 25 °C, salinidades de 34.0 a 34.8 ups y un espesor de 15 a 25 m
 Aguas Tropicales Superficiales (ATS), en condiciones normales se presentan al norte de los 4°S, con temperaturas mayores de 25°C y salinidades menores de 34.0 ups, con un espesor aproximado de 20 m.

Aguas Templadas de la Subantártica (ATSA), masa de agua subsuperficial, proveniente del borde norte de la región subantártica, se extiende normalmente hasta los 15°S por debajo de los 50 m de profundidad, su rango de temperatura es de 15-13 °C y de salinidad de 34.8 a 34.6 ups.



CIRCULACION MARINA

Las fuerzas motrices de las corrientes oceánicas son la rotación de la tierra, la fricción del aire con la superficie del agua y las variaciones de la densidad del agua de mar debido a las diferencias de temperatura y salinidad.

Estas fuerzas hacen que se presente una serie de movimientos de las masas de agua de los mares, que generan y modifican las corrientes oceánicas.

Las corrientes se convierten en los agentes principales de transporte del calor ecuatorial hacia los polos y del frío polar hacia las regiones tropicales.

El sistema de circulación frente a la costa peruana es bastante complejo, integrado por corrientes marginales superficiales y subsuperficiales que soportan el afloramiento a lo largo de la costa.

En la superficie se destaca la Corriente Peruana constituida por la Corriente Costera (CCP) y Corriente Oceánica (COP), las mismas que se unen en la estación de invierno, mientras que en la

capa subsuperficial destacamos la Corriente Peruana Subsuperficial y la Extensión Sur de la Corriente de Cromwell

La CCP fluye entre la costa y los 78° W, con velocidad promedio de 5 a 15 cm/seg, disminuyendo su intensidad a medida que avanza hacia el norte y a mayor profundidad, es más intensa entre los meses de abril y septiembre, cuando los vientos alisios del SE se intensifican. Transporta un volumen aproximado de 6 millones de m³/seg. Alcanza profundidades de hasta 200 m donde está escasamente desarrollada.

La COP, es más intensa que la CCP, fluye hacia el norte al oeste de los 82° W, alcanzando los 700 m de profundidad; alrededor de los 10° S gira hacia el oeste, entre julio y octubre forma un solo flujo con la CCP y está situada al oeste de la línea de máxima acción del viento, transporta un caudal de unos 8 millones de m³/seg, los caudales de la CCP y la COP contribuyen a la formación de la Corriente Sur Ecuatorial.

Extensión Sur de la Corriente de Cromwell (ESCC). Corriente subsuperficial, que se inicia en la zona oceánica y se extiende hacia la zona costera entre los 05° y 08° ó 09° S, para luego integrarse a la Corriente Peruana Subsuperficial; se puede ubicar entre 50 a 300 m de profundidad principalmente entre Paita y Punta Falsa (5 - 6° S), se caracteriza por presentar temperaturas de 15 a 13 °C, salinidades de 34,9 a 35.1 ups y concentraciones relativamente altas de oxígeno (mayores a 1.0 mL/L a 100 o 200 m de profundidad).

Variabilidad Oceanográfica a Macro y Meso escala

Frente a la costa peruana destacan dos eventos trascendentes y de características opuestas, "El Niño" y el afloramiento costero. Estos eventos se presentan en períodos irregulares de tiempo, con intensidad variable y como contraparte uno del otro.

Se tiene información difusa de estos eventos desde la llegada de los españoles con su escritura al Perú. Se destacan principalmente los eventos cálidos, como el del año 1578 catalogado como un "Niño muy fuerte" ó "extraordinario" (Quinn et al., 1986).

Otros eventos de similar magnitud que cuentan con mayor información se presentaron en 1728, 1781, 1828, 1877-78, 1891, 1925-26, y últimamente los más estudiados de 1972-73, 1982-83 y 1997-98.

Los eventos fríos ó muy fríos "La Niña" se han venido desarrollando intercaladamente con los cálidos: sobre ellos no hay estudios profundos, tal vez porque no está relacionado a grandes alteraciones negativas en el clima y océano. Todos los eventos fríos no se le puede considerar como "La Niña", debido que frente a la costa peruana, donde son comunes y persistentes los afloramientos costeros, muchas veces la frialdad limita con la normalidad, por este motivo, considera en el presente trabajo a los años fríos, aquellos que en promedio frente a la costa del Perú no pasen los -2 °C de anomalía, y como años "Niña" aquellos años muy fríos que pueden alcanzar hasta -3 °C, esto último está asociado a un repliegue a la parte oceánica de las ASS y hacia el norte de las AES.

EL Fenómeno EL NIÑO

El término "El Niño" (El Niño Jesús) fue originalmente empleado por los pescadores a lo largo de las costas de Perú y Ecuador para referirse a una corriente Oceánica cálida que hace su aparición alrededor de la Navidad y dura varios meses. A través de los años, el término "El Niño" se ha reservado para estos intervalos excepcionalmente fuertes de

aguas cálidas, que no solo altera la vida normal de los pescadores sino que también trae consigo fuertes lluvias.

El Niño es un fenómeno de macro escala, responsable de cambios de efecto global a corto, mediano y largo plazo. Se manifiesta principalmente en el Pacífico Ecuatorial, comprometiendo la región tropical y subtropical, involucra en sus efectos amplias áreas continentales de Asia,

Oceanía, Europa y América, con gran impacto en Perú y Ecuador, donde puede alcanzar características dramáticas cuando es de gran intensidad.

En general, la primera manifestación de estos eventos es el debilitamiento de los vientos alisios del sur e intensificación de los vientos del oeste en el Pacífico Central Ecuatorial, lo que se traduce en que masas de aguas cálidas se aproximen a la costa, dando lugar a la elevación de la temperatura en una capa considerable de la columna de agua, con la consiguiente profundización de la termoclina; esta invasión de aguas cálidas reduce o elimina las áreas de afloramiento, disminuyendo considerablemente la principal fuente de alimento de los organismos.

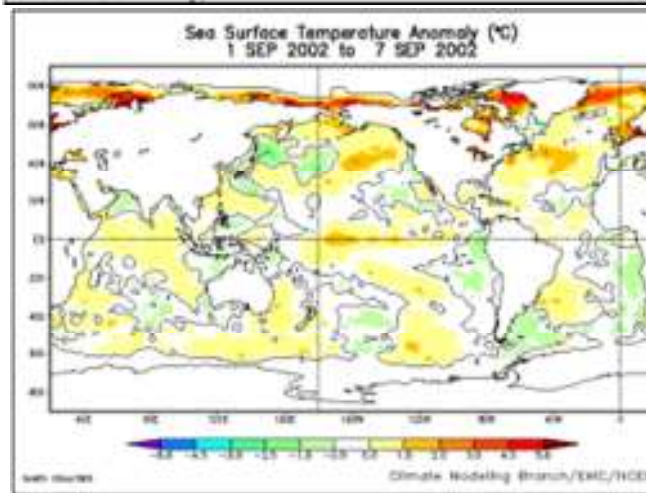
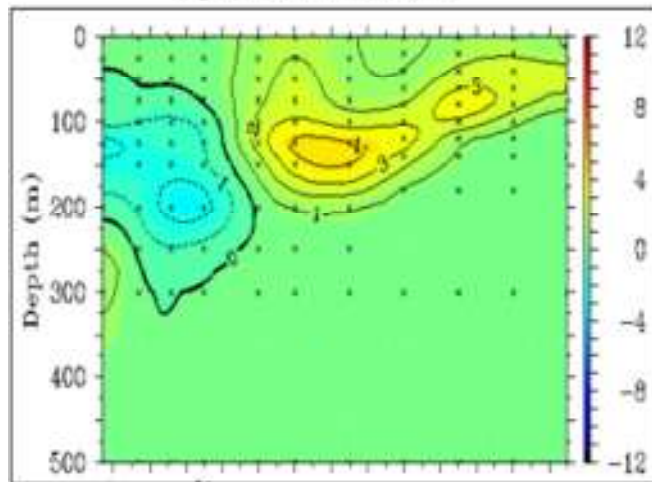
En las tres últimas décadas se han presentado seis eventos El Niño de consideración, a lo que se le ha dedicado una intensa actividad de investigación, tres de ellos de intensidad moderada "Niño Moderado" (1976, 1987 y 1992), y tres eventos considerados de magnitudes fuertes y Extraordinarios: 1972-73, 1982-83 y 1997-98. Por su intensidad y duración estos eventos han repercutido considerablemente en los aspectos económicos y sociales de los países afectados.

Condiciones oceanográficas actuales

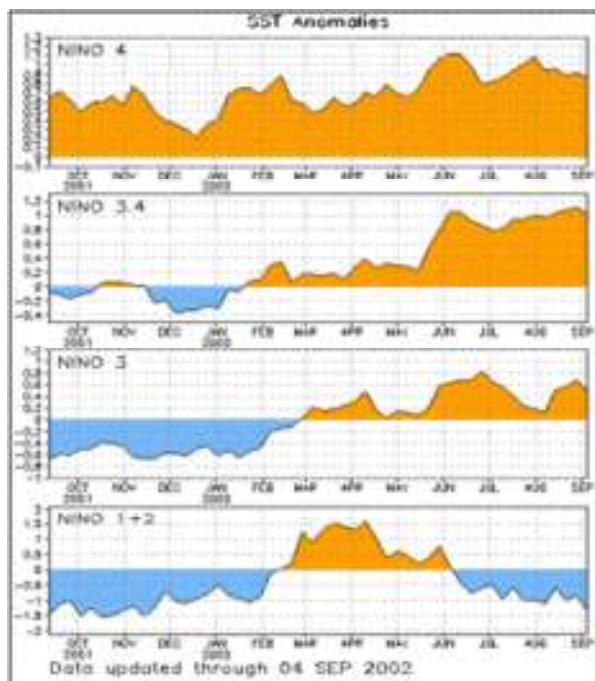
Las condiciones del inicio de evento cálido El Niño prevalecieron durante agosto 2002 en el Pacífico Tropical, las anomalías de Temperatura Superficial del Mar - TSM (respecto a su promedio patrón) permanecieron por arriba de $+1,0^{\circ}\text{C}$ a lo largo del Pacífico ecuatorial central entre 170°E y 95°W . Los indicadores atmosféricos de un evento cálido El Niño incluyen consistentemente valores negativos del Índice de Oscilación Sur - IOS desde marzo del 2002, y un debilitamiento por debajo de su promedio de vientos del este de bajo-nivel durante mayo a agosto del 2002 a lo largo del Pacífico ecuatorial. Las variables atmosféricas y oceánicas analizadas reflejan la presencia y evolución de condiciones El Niño débil a moderado. La mayoría de pronósticos de los modelos acoplados y estadísticos indican que las condiciones El Niño continuarían hacia el final del 2002 e inicios del 2003. Aun cuando existe una considerable incertidumbre en los pronósticos acerca del periodo e intensidad del pico a alcanzar por este evento cálido, todos los pronósticos indican que este será de una intensidad mucho menor que El Niño 1997 - 98.

Durante Setiembre del 2002, los patrones océano - atmosféricos en el Océano Pacífico tropical que influyen el comportamiento del clima global reportaron:

Anomalia de temperatura oceánica subsuperficial a lo largo del Pacífico ecuatorial.



La distribución promedio semanal de la Anomalia de TSM (°C) para las cuatro regiones El Niño del Pacífico Ecuatorial durante el periodo septiembre 2001 - septiembre 2002 se muestra a continuación.



En general, durante septiembre 2002, las gráficas muestran:

- A las regiones Niño 4 (+0.90 °C), Niño 3+4 (+1.0 °C) y Niño 3 (+0.50 °C) con anomalía positiva de TSM.
- La región Niño 1+2 (-1.30 °C) con anomalía negativa de TSM.

La tendencia general para las regiones Niño 3, Niño 4 y Niño 3+4 es de mantener condiciones cálidas durante el cuarto trimestre del 2002.

La tendencia para la Región Niño 1+2 es hacia alcanzar condiciones de normalización durante septiembre e inicios de octubre del 2002

En la banda costera del litoral peruano las regiones norte, centro y sur continúan con temperatura superficial del mar entre los 15°C - 18°C. La zona de mayor surgencia costera estuvo entre Pisco (13°S) y Matarani (17°S). En la última semana de setiembre que se registró un incremento de la TSM en la zona costera norte (frente a Paita) registrándose anomalías de TSM hasta +3,0 °C

El medio ambiente marino se caracterizó por presentar características atípicas para el invierno debido a la incursión ASS en la zona costera, determinando un ambiente alterado con anomalías positivas en esta zona (frente a Chimbote-Chicama), en tanto en la zona oceánica las condiciones fueron casi normales con anomalías negativas próximas a cero.