

MOVIMIENTO VERTICAL DE LAS AGUAS EN EL PACÍFICO COLOMBIANO DURANTE JUNIO Y OCTUBRE DE 1996

1. Nancy L. Villegas B.

RESUMEN

El presente trabajo muestra el resultado del cálculo de corrientes verticales durante La Niña 1996 en tres transectos que abarcan casi toda el área del Pacífico Colombiano. Se utilizaron datos de presión atmosférica, temperatura y salinidad del mar hasta los 400 metros de profundidad obtenidos en la Cuenca del Pacífico Colombiano por cruceros realizados por el Centro Control Contaminación del Pacífico a bordo de buques de investigación de la Armada Nacional en Junio y Octubre de 1996. Se obtuvo como resultado la velocidad vertical en las profundidades 0, 10, 25, 50, 75, 100, 150 200 300 y 400 metros. Por medio del análisis se corroboró la dependencia entre los cambios en las características termohalinas del océano producidos por el ENOS y los movimientos de ascenso y descenso de aguas; se registró una zona extensa de ascenso de aguas sobre toda el área de estudio proveniente de los 300 metros y se resaltó el transecto denominado "Perfil Isla Gorgona" como el sector de máxima surgencia en los periodos analizados.

INTRODUCCION

En un estudio anterior se mostró por primera vez un análisis sobre el comportamiento del movimiento vertical de las aguas en la región Este del Pacífico Colombiano de acuerdo con los cambios producidos por tres diferentes fases del ciclo ENOS (Villegas, 1995). Teniendo como base que en los resultados de dicho análisis se registró que durante la fase fría del ciclo ENOS el ascenso de aguas fue mayor que en otras fases y que fue mas demarcado en los alrededores de la Isla Gorgona, en el presente trabajo se analizó el movimiento de ascenso y descenso del agua durante dos meses del evento La Niña 1996 en tres diferentes transectos que abarcan casi toda la Cuenca del Pacífico Colombiano.

EL presente estudio se desarrolló con datos de temperatura del mar y salinidad hasta una profundidad de 400 metros y campos de presión atmosférica correspondientes a la Cuenca del Pacífico Colombiano obtenidos en cruces efectuados por el Centro Control Contaminación del Pacífico a bordo del buque de investigación «ARC Malpelo» de la Armada Nacional realizados en los meses de Junio y Octubre de 1996.

Se obtuvo como resultado valores de densidad, nivel del mar y de los componentes de la velocidad vertical de los meses de junio y octubre de 1996. La velocidad vertical se analizó por medio de isólineas en transectos sobre las latitudes 04°00' N, 03°00' N y 02°00' N, denominados: "Perfil Buenaventura", "Perfil Isla Gorgona" y "Perfil Tumaco" respectivamente.

Por medio del análisis se corroboró la dependencia entre los cambios en las características termohalinas del océano producidos por el ENOS y los movimientos de ascenso y descenso de aguas; se registró una zona extensa de ascenso de aguas sobre casi toda el área de estudio proveniente de los 300

metros y se resaltó el transecto denominado "Perfil Isla Gorgona" como el sector de máximo ascenso de aguas en los meses analizados.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio es la Cuenca del Pacífico Colombiano, localizada desde los meridianos 77°40' W hasta los 82°00' W y desde las latitudes 01°30' N hasta 06°30' N. Consta de una grilla con 54 estaciones oceanográficas, que comprenden desde las aguas limítrofes con Panamá hasta la frontera con las aguas del Ecuador, abarcando hasta unas 300 millas aproximadamente del sector oceánico (Fig N° 1).

METODOLOGÍA

La Temperatura del Agua de Mar y la Salinidad fueron medidas en la columna de agua por medio de un perfilador CTD y registros de probetas XBT tipo T4 hasta una profundidad de 480 metros en el crucero oceanográfico del mes de junio de 1996 y hasta una profundidad de 900 metros en el de octubre. La temperatura superficial del mar fue observada con un termómetro de cazoleta.

Se procedió a la restauración de los datos ausentes de la información inicial por medio de interpolación lineal y el método de Kriging. Luego, se calculó la densidad del mar y se analizó su distribución vertical a fin de detectar alguna inversión de ésta que nos indique datos erróneos de temperatura o salinidad. Posteriormente se calculó el nivel del mar completando así los datos base para el cálculo de las componentes de la velocidad vertical. Dichas componentes se calcularon con el desarrollo de la siguiente expresión de acuerdo al modelo de Sarkisián (Sarkisián y Demina, 1986; Villegas, 1995):

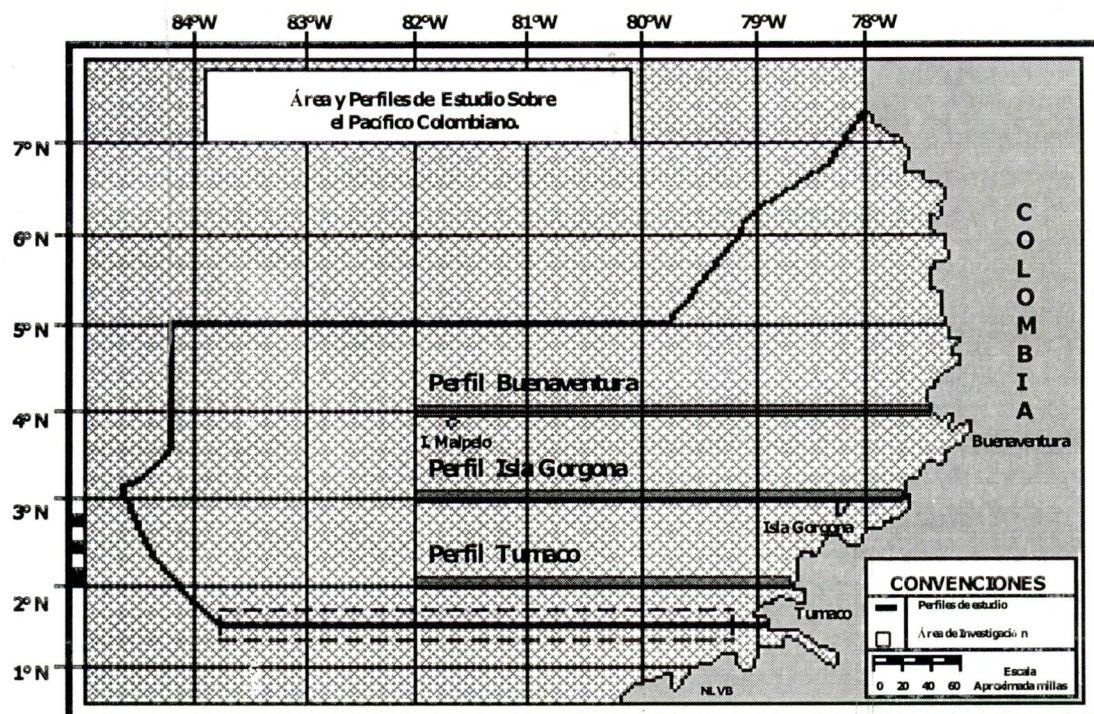


Fig N°1

$$\frac{V_z}{dz} = \underbrace{-\frac{\Delta Pa}{2f\rho\alpha'R^2} + \frac{\text{Sen}\theta}{2f\rho\alpha'R^2\text{Cos}\theta}}_{V_{z1}} - \frac{\partial Pa}{\partial \theta} + \underbrace{\frac{1}{\text{Sen}\theta} \frac{\partial Pa}{\partial \lambda} + \frac{gz}{fR^2\text{Cos}\theta} \frac{\partial \xi}{\partial \lambda}}_{V_{z2}} - \underbrace{\frac{g}{f\rho\alpha'R^2\omega\text{Cos}\theta} \int_0^z (z-\xi) \frac{\partial p}{\partial \lambda}}_{V_{z3}}$$

donde:

- Pa - anomalía de la presión atmosférica;
- g - aceleración de caída libre;
- x - anomalía del nivel del mar;
- r - densidad del agua;
- f - parámetro de Coriolis;
- ro - magnitud media de la densidad del agua;
- a' - parámetro de Ekman para la atmósfera;
- w - velocidad angular de rotación de la Tierra.
- R - radio del planeta Tierra;
- l, q - ejes de dirección al occidente y al sur;
- z - distancia vertical;
- VZ - componente vertical en Z.

Las cualidades aditivas de esta expresión permiten determinar los factores influyentes en la formación de la circulación vertical encontrando el valor de la velocidad vertical como resultado de la suma algebraica de sus componentes Vz1, Vz2 y Vz3 las cuales representan los mecanismos forzantes del movimiento vertical: eólico, gradiental y baroclínico respectivamente (Daronin, 1980).

Con base en diferentes análisis (Volkov, 1980; Bubnov, 1990; Burkov, 1992; Sarkisian y Demina, 1986; Doronin, 1980; Simionov, 1981 entre otros) se ha demostrado que en la investigación de corrientes a gran escala se presenta un problema en la definición de la función x (en este caso el nivel del mar).

Esta búsqueda se reduce a la solución de una ecuación elíptica con fronteras homogéneas y con condición fronteriza proveniente del método cuasidánámico. La solución de la ecuación se realiza por medio del método de Gauss - Zeidel con aproximaciones de esquemas diferenciales centrales y con el desarrollo de integrales a través del método del trapecio (Rubinov A.M., 1994).

Para obtener el resultado final, se supuso que la Cuenca del Pacífico Colombiano es una piscina con fronteras líquida y sólida (límite oceánico y límite costero) y una profundidad de 400 m, se procedió a calcular la densidad del mar, la función auxiliar x (Nivel del Mar) y los componentes de la Velocidad Vertical V_z (V_{z1} , V_{z2} , V_{z3}). En la superficie del océano la componente vertical se igualó a cero y en los demás horizontes se calculó por la fórmula anterior, en la cual se reemplazó la magnitud desconocida (nivel del mar) por la función auxiliar encontrada x . La Velocidad Vertical V_z se obtuvo como resultado de la suma de sus componentes.

Para el análisis de la circulación vertical, se realizaron cortes en los paralelos: 04°00' N - Perfil Buenaventura, 03°00' N - Perfil Isla Gorgona y 02°00' N - Perfil Tumaco (Fig. N° 1).

RESULTADOS Y DISCUSION

Características Oceanográficas a Nivel Superficial Durante Junio y Octubre de 1996

En el mes de junio los índices oceánicos y atmosféricos en el Océano Pacífico tropical presentaban características climáticas con condiciones típicas de un período frío de intensidad entre débil y moderada iniciado a principios de 1996 (CPPS, Boletín Alerta Climático 1996).

Durante este mes en la región del Pacífico ecuatorial oriental se observaron anomalías negativas de la temperatura superficial del mar del orden de 1° C por debajo de sus valores normales (Climate Diagnostics Bulletin 1996).

En cuanto al Pacífico Colombiano para junio de 1996 (Pineda A.R., N.L. Villegas et al., 1996) el comportamiento de la temperatura superficial del mar (TSM) osciló entre 26.1°C y 28°C. Los valores más bajos de la TSM se presentaron en el sector oceánico, siendo así, que desde la región sur oeste los valores se incrementaron hacia la región noreste registrando temperaturas de 26.1°C a 26.8°C las cuales son bajas para la región. Se observó que una isoterma de 27°C dividió el área de estudio en dos partes, una en el sector oceánico con temperaturas bajas (26.1° - 26.8°C) y otra en el sector costero con temperaturas cálidas (27.2° - 28°C). Alrededor de la Isla de Gorgona (78°15' W y 3° N) la TSM tomó valores entre 27.3° y 27.4°C. A lo largo del litoral Pacífico Colombiano la TSM registró valores entre 27.3°C provenientes de la frontera con aguas ecuatorianas y 28°C localizados cerca a los límites con las aguas panameñas. La temperatura de 28°C se explica por la influencia de las aguas cálidas que llegan de la corriente del Golfo de Panamá.

A nivel superficial las características de la Salinidad del agua en el Pacífico Colombiano también presentaron características de un evento frío (Pineda A.R., N.L. Villegas et al., 1996) mostrando valores entre 24.5 psu y 32.0 psu para el mes de junio. En las cercanías de la Isla de Gorgona la Salinidad tomó valores entre 30.5 psu y 31.5 psu. En el sector oceánico se registraron los valores de Salinidad más altos, encontrándose que, cerca a la Isla de Malpelo (81°45'W y 4°N) la Salinidad del Mar fue igual a 32.5 psu. A lo largo de la costa del Pacífico Colombiano la Salinidad tomó valores entre 24.5 psu en la región Chocoana y 28.5 psu en los sectores restantes.

Para octubre de 1996 la temperatura superficial del mar retornó a valores normales en todo el Pacífico ecuatorial, excepto en el Pacífico ecuatorial oriental. En el Pacífico ecuatorial, frente a la costa de Sudamérica y al norte de los 12° sur, continuaban observándose anomalías negativas de la TSM de intensidad moderada. Estas condiciones indicaban la continuación de la disminución de las anomalías negativas de la TSM de intensidad débil en el Pacífico ecuatorial central y oriental durante los próximos meses (CPPS, Boletín Alerta Climático 1996; Climate Diagnostics Bulletin 1996).

El comportamiento de la temperatura superficial del mar en el Pacífico Colombiano durante Octubre (Pineda A.R., N.L. Villegas et al., 1996) presentó valores comprendidos entre 26.31°C y 27.5°C. Los valores más bajos se observaron en el sector sur del área de estudio con registros que alcanzaron los 26.4°C. Hacia la parte noroeste del área se presentó una gran bolsa de agua dirigiéndose hacia el sector central con temperaturas que oscilaban entre 26.5°C y 26.8°C. Las temperaturas más altas se registraron en el área nordeste con valores superiores a 27°C posiblemente desplazadas por la corriente que se forma en el golfo de Panamá.

El comportamiento de la salinidad a nivel superficial presentó en octubre dos campos muy bien definidos: el sector oceánico y el sector costero (Pineda A.R., N.L. Villegas et al., 1996). En el sector oceánico al sur oeste de la región se observó una bolsa de agua salina desplazada por la contracorriente ecuatorial con salinidad desde 31.6 psu hasta 32.6 psu. Así mismo, hacia la parte central se observó un corte transversal con dirección de la Isla Malpelo hacia la costa Nariñense con valores de 30.8 a 31.4 psu. El sector costero presentó valores bajos de salinidad producto del aporte continental y excesiva precipitación que se presenta en la zona, con registros hasta de 25.3 psu en el sector noroeste. En el

centro del área, frente a las bocas del río San Juan, se presentó una lengua de agua con baja salinidad que se extendió hasta unas 80 millas aproximadamente desde la costa con valores de 24.2 psu.

De acuerdo con el conocimiento de que 1996 presentó características climáticas relacionadas con el evento frío La Niña y que en un análisis anterior sobre el movimiento vertical de las aguas en la región Este del Pacífico Colombiano en diferentes fases del ciclo ENOS se determinó que el ascenso de aguas durante una fase fría de este ciclo es mayor (Villegas, 1995), se puede esperar entonces que en 1996 el movimiento de ascenso de aguas se presente en la región de estudio una manera demarcada.

Para corroborar lo anterior se realizó un análisis del movimiento vertical de las aguas de la Cuenca del Pacífico Colombiano en dos meses de 1996 de tal manera que el estudio abarque gran parte del área de investigación. Por lo tanto, se trazaron tres transectos a lo largo de los paralelos: 04°00' N - Perfil Buenaventura, 03°00' N - Perfil Isla Gorgona y 02°00' N - Perfil Tumaco. Estos transectos son sectores representativos en la región de estudio ya que en ellos se presentan aguas influenciadas tanto por el continente como por las corrientes oceánicas (Pineda A.R., N.L. Villegas et al., 1996).

Circulación Vertical en la Cuenca del Pacífico Colombiano Durante Junio y Octubre de 1996

Transecto "Perfil Buenaventura"

El Perfil Buenaventura es el más extenso de los tres transectos de análisis. Se localiza en el paralelo 4°00' N entre los meridianos 77°30'W y 82°00'W. En esta zona por lo general se perciben tanto aguas provenientes del Golfo de Panamá por medio de la corriente del Chocó al Norte de la región de estudio,

como de las aguas oceánicas por medio de la Contracorriente Ecuatorial al occidente de la Cuenca del Pacífico Colombiano (Bubnov, 1990).

En la figura N° 2 se observa la velocidad vertical sobre el transecto "Perfil Buenaventura" en el mes de junio en isolíneas a intervalos de $10 \times \text{cm/s}$. Aquí, se aprecia un ascenso leve de aguas en el sector costero y otro más demarcado entre los meridianos $79^{\circ}30' \text{ W}$ y $80^{\circ}30' \text{ W}$. Dichos ascensos provienen de profundidades mayores a los 300 metros. A esta profundidad en el meridiano 80° W se registra el valor máximo de velocidad vertical en ascenso de aguas igual a $272 \times \text{cm/s}$. A los 100 metros de profundidad en el mismo meridiano se registran velocidades de ascenso menores igual a $67 \times \text{cm/s}$. En los demás meridianos de este transecto el descenso de aguas se registró con velocidades verticales superiores a las de ascenso, teniendo la máxima de $392 \times$ localizada en los 300 metros del meridiano $81^{\circ}30' \text{ W}$.

Las isolíneas de la velocidad vertical en octubre se realizaron con un intervalo de $10 \times \text{cm/s}$. Para este mes en el transecto Perfil Buenaventura las aguas profundas ascienden en todos los meridianos a excepción del meridiano $81^{\circ}00' \text{ W}$ y $81^{\circ}30' \text{ W}$ (fig. N°3) donde el ascenso es obstruido por un descenso de aguas a partir de los 25 metros de profundidad. El núcleo de mayor velocidad vertical de ascenso se desplazó del meridiano 80° W observado en junio, al meridiano $79^{\circ}30' \text{ W}$ y su magnitud bajó levemente (de $272 \times \text{cm/s}$ a $233 \times \text{cm/s}$). En el sector noroeste se observa un inicio de ascenso de aguas en el $81^{\circ}30' \text{ W}$ y aunque el núcleo de mayor magnitud de descenso de aguas en junio se localizó en este mismo meridiano su valor bajó casi en $100 \times \text{cm/s}$ siendo ahora igual a $241 \times \text{cm/s}$.

La velocidad vertical de ascenso y descenso no tuvo tanta diferencia en sus magnitudes

como se presencié en el mes de junio (velocidad máxima de ascenso igual a $272 \times \text{cm/s}$ y de descenso igual a $241 \times \text{cm/s}$, mientras que en junio fueron iguales a 272 y $392 \times \text{cm/s}$ respectivamente). Se puede observar, que en junio el "Perfil Buenaventura" el ascenso de aguas no se presentó en una forma tan demarcada como en octubre. Cabe recordar que la TSM en octubre fue más baja que en el mes de junio en el Pacífico Colombiano y que en la parte noroeste del área se presentó una gran bolsa de agua dirigiéndose hacia el sector central con temperaturas que oscilaban entre 26.5°C y 26.8°C , lo cual puede explicar la diferencia en el movimiento vertical de las aguas encontrada entre los dos meses en este transecto.

Transecto "Perfil Isla Gorgona"

El transecto "Perfil Isla Gorgona" se encuentra localizado en el sector central del área de estudio y se ubica entre los meridianos $77^{\circ}45' \text{ W}$ y 82° W . Este sector presenta la influencia de aguas provenientes del sudeste en la zona costera y de aguas oceánicas que llegan por el occidente del área de estudio con la Contracorriente Ecuatorial (Burkov, 1992).

En la figura N° 4 se observa la circulación vertical obtenida para el mes de junio en este transecto por medio de isolíneas con un intervalo de $20 \times \text{cm/s}$. En ella se puede apreciar que en las capas superficiales se presenta el ascenso de aguas en todos los meridianos a excepción del 80° W donde a partir de los 50 metros aproximadamente se presenta un descenso de aguas lo cual no permite la obtención de un sector homogéneo de elevación de aguas en este transecto.

La elevación de aguas en el Perfil Isla Gorgona no solo supera al descenso de aguas en el área que ocupa dentro de este

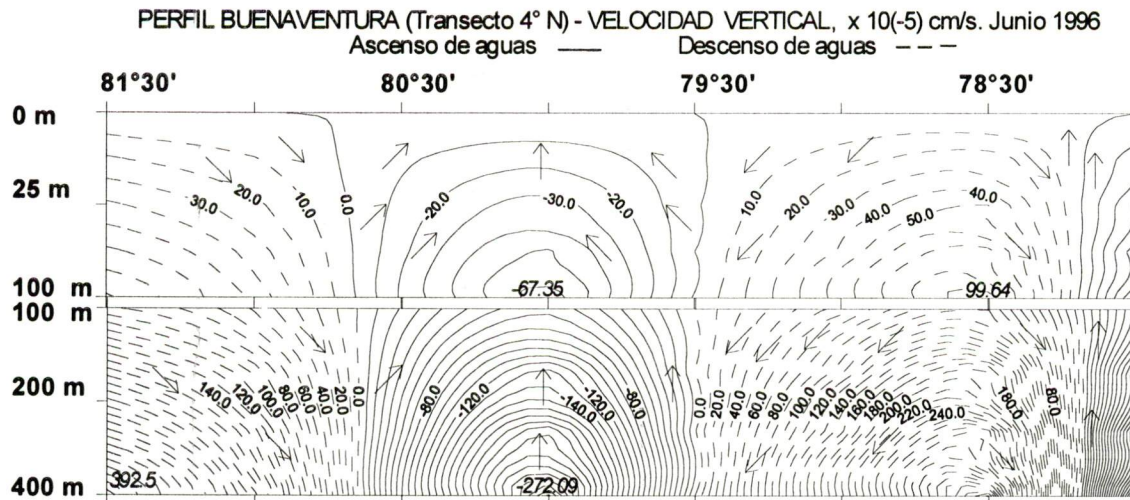


Fig N°2

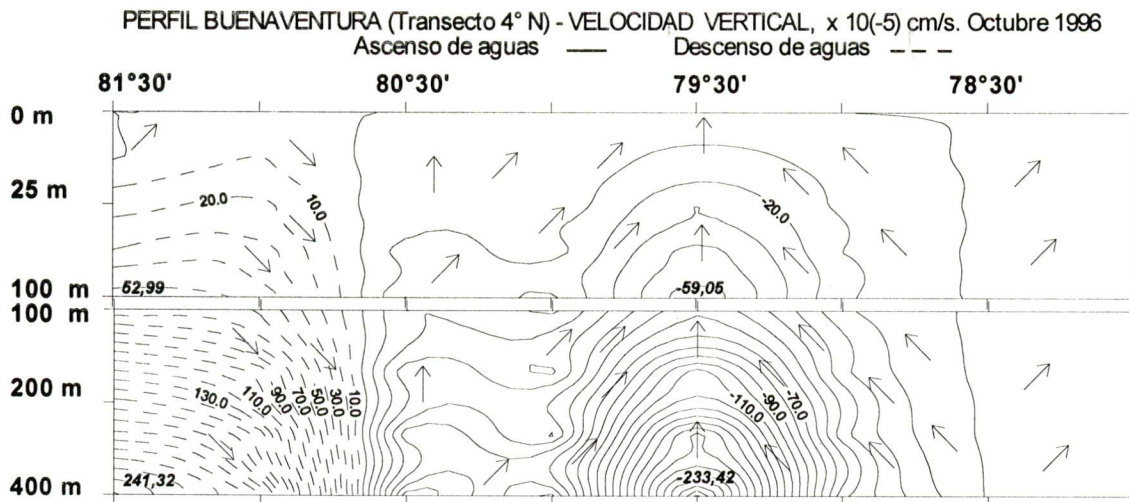


Fig N°3

transecto sino también en la magnitud, ya que el ascenso de aguas se realizó con una velocidad vertical máxima igual a 1104 x cm/s localizada a 400 metros en el meridiano 80°30'W, mientras que la velocidad máxima de descenso fue de 207 x cm/s ubicada también a 400 metros en el meridiano 80° W.

En el mes de octubre las isolíneas de la velocidad vertical en el transecto Perfil Isla Gorgona se realizaron con un intervalo de 20 x cm/s. La figura N° 5 presenta también un ascenso de aguas en toda el área en casi todos los meridianos a excepción del 79°30' W donde el descenso inició a partir de los 10 metros de profundidad. La velocidad vertical

varía entre 416 x cm/s en el descenso de aguas y 693 x cm/s en ascenso. Estos valores máximos se localizaron en los meridianos 79°30' W y 81°30' W respectivamente a los 400 metros de profundidad. Este transecto en el mes de octubre se caracterizó por presentar una elevación de aguas en forma homogénea en los sectores central y oceánico. Como se puede apreciar, tanto en junio como en octubre de 1996 la elevación de aguas abarca una gran extensión del transecto Perfil Isla Gorgona y de acuerdo con un análisis del movimiento vertical realizado para 1988 en la región este del Pacífico Colombiano también se presentó una demarcada elevación de aguas en este mismo sector (Villegas, 1995).

De acuerdo con las características oceanográficas a nivel superficial presentadas durante junio y octubre en esta región de la Cuenca del Pacífico Colombiano se observó la entrada de aguas oceánicas frías al occidente de este sector y se detectaron temperaturas bajas en los alrededores de la Isla

Gorgona localizada al oriente de este transecto sobretodo en el mes de junio. Esto permite recalcar que existe la dependencia entre la presencia de un fenómeno frío y el inicio y desarrollo de un proceso de ascenso de aguas y por consecuencia, de un fenómeno de surgencia en una región determinada.

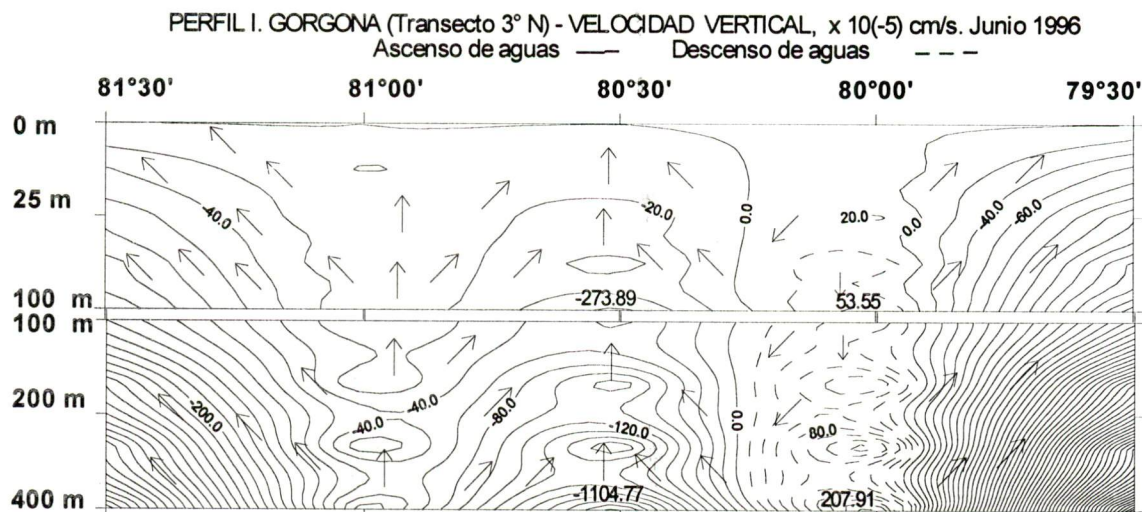


Fig N°4

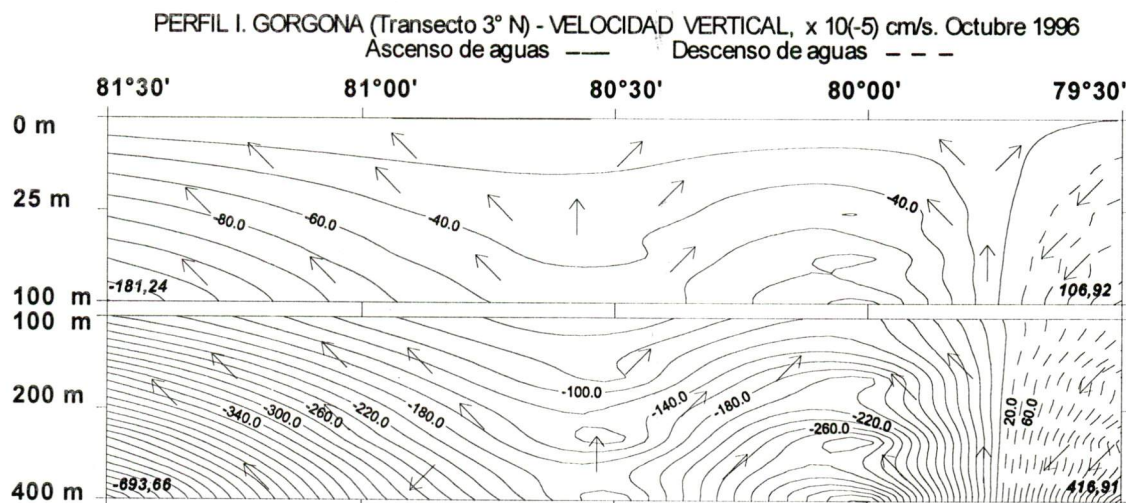


Fig N°5

Transecto "Perfil Tumaco"

El transecto Perfil Tumaco es el más corto en relación con los dos transectos analizados anteriormente. Se localiza en el paralelo 2° N entre los meridianos 78°30' W y 82° W.

Este sector está influenciado por aguas de tipo oceánico en la parte occidental y tanto por aguas frías provenientes del sur, como de aguas del continente en la parte oriental (Bubnov 1990; Pineda A.R., N.L. Villegas et al, 1996).

Las isolíneas del transecto Perfil Tumaco se realizaron con un intervalo de 100 x cm/s en el mes de junio y de 50 en el de octubre. En la figura N° 6 se observa que en el mes de junio los valores máximos de velocidad vertical de ascenso y descenso de aguas se localizaron a los 400 metros en los meridianos 80°30'W (2164 x cm/s) y 79°45' W (2484 x cm/s) respectivamente.

Se detectó que la zona de elevación de aguas se localizó en todos los meridianos de este transecto hasta los 10 - 25 metros aproximadamente. A partir de estas profundidades el ascenso se concentró entre los meridianos 80° W y 81° W presentando una figura casi similar a la observada en el transecto Perfil Buenaventura en el mes de junio.

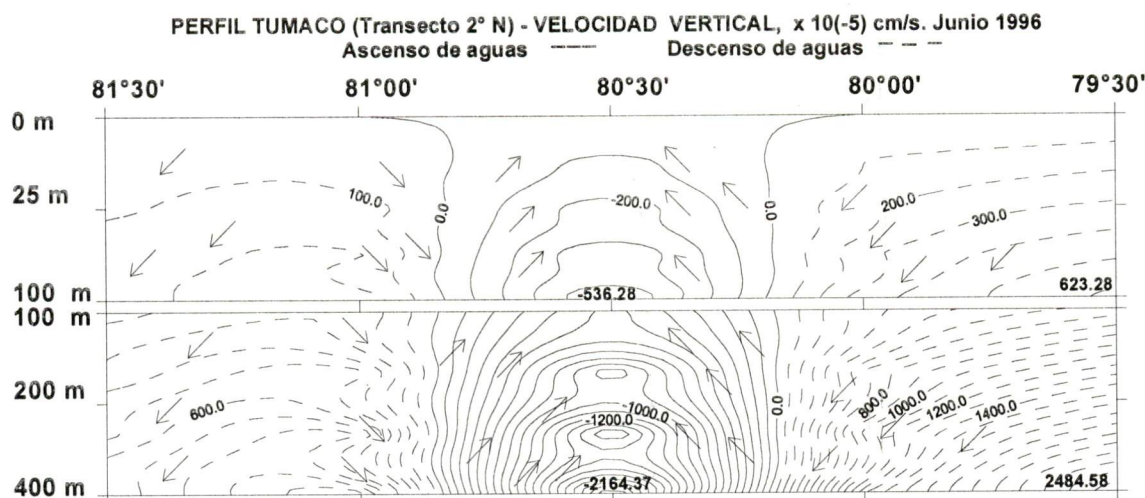


Fig N°6

En el mes de octubre (fig. N°7) se detectó una zona de ascenso de aguas entre los meridianos 79°30' W y 81°00' W. La velocidad máxima de ascenso fue igual a 1543 x cm/s localizada a 400 metros en el meridiano costero 79°30' W. La velocidad máxima de descenso se encontró a la misma profundidad en el meridiano oceánico 81°30' W igual a 1252 x cm/s. La diferencia entre estas dos magnitudes no es mucha pero si es significativa en comparación con las registradas en los transectos Perfil Buenaventura y Perfil Isla Gorgona tanto en junio como en octubre.

El hecho de que la velocidad vertical de este transecto sea tan alta en comparación con los otros dos puede ser debido a que en esta zona se percibe la influencia de corrientes del sector oceánico, como del continente y de

la parte sur de la región lo cual puede generar movimientos de encuentro de corrientes que aceleren las velocidades de circulación de las aguas.

En cuanto a la comparación de estos tres perfiles entre los meses junio y octubre es interesante saber las velocidades verticales en el mes de junio fueron relativamente más altas que las de octubre. Esto puede estar relacionado con que en el último se registró que en el Pacífico Ecuatorial las características típicas del fenómeno frío retornaban a la normalidad, mientras que en el Pacífico ecuatorial oriental aún se observaban condiciones que inclusive indicaban la continuación de las anomalías negativas de la TSM en el Pacífico ecuatorial central y oriental. En cuanto al Pacífico colombiano se observó una disminución de

temperatura superficial del mar de 0.5°C (Pineda A.R., N.L. Villegas, et al., 1996) y estas

condiciones pueden ser también influyentes en el comportamiento dinámico de las aguas a nivel vertical.

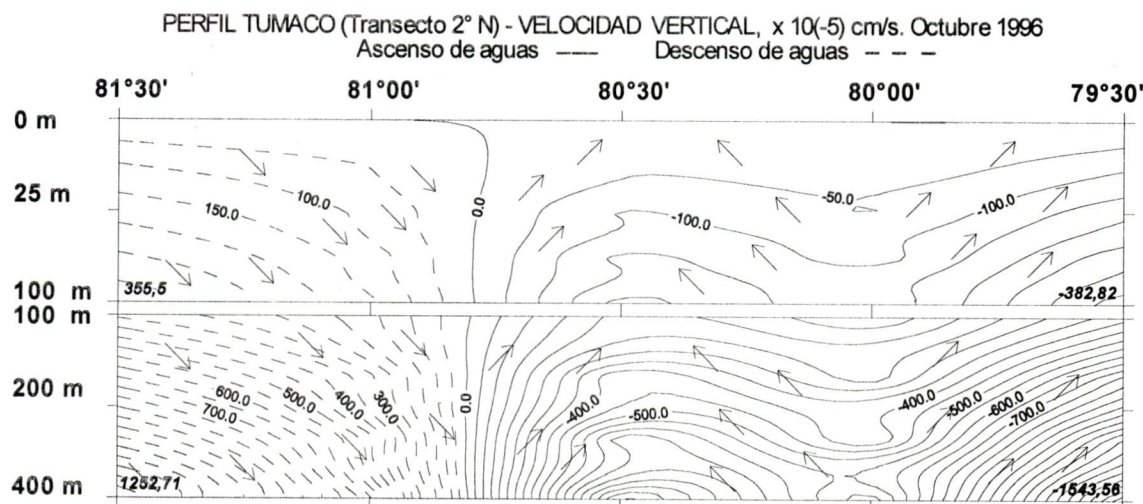


Fig N°7

CONCLUSIONES

En el mes de junio los índices oceánicos y atmosféricos en el Océano Pacífico tropical presentaban características climáticas con condiciones típicas de un período frío de intensidad entre débil y moderada. En el Pacífico Colombiano el comportamiento de la temperatura superficial del mar (TSM) osciló entre 26.1°C y 28°C . Los valores más bajos de la TSM se presentaron en el sector oceánico.

Para octubre de 1996 la temperatura superficial del mar retornó a valores normales en todo el Pacífico ecuatorial, excepto en el Pacífico ecuatorial oriental. Las condiciones océano - atmosféricas indicaban la continuación de la disminución de las anomalías negativas de la TSM de intensidad débil en el Pacífico ecuatorial central y oriental. El comportamiento de la TSM en el Pacífico Colombiano presentó valores comprendidos entre 26.31°C y 27.5°C . Los valores más bajos se observaron en el sector sur del área de estudio con registros que alcanzaron los 26.4°C .

La velocidad vertical sobre el transecto "Perfil Buenaventura" en el mes de junio presentó un ascenso leve de aguas en el sector costero y otro más demarcado entre los meridianos $79^{\circ}30'\text{W}$ y $80^{\circ}30'\text{W}$. Para el mes de octubre las aguas profundas ascendieron en todos los meridianos a excepción del meridiano $81^{\circ}00'\text{W}$ y $81^{\circ}30'\text{W}$ donde el ascenso fue obstruido por un descenso de aguas a partir de los 25 metros de profundidad.

En el mes de junio en el "Perfil Buenaventura" el ascenso de aguas no se presentó en una forma tan demarcada como en octubre. Cabe recordar que la TSM en octubre fue más baja que en el mes de junio en el Pacífico Colombiano y que en la parte noroeste del área se presentó una gran bolsa de agua dirigiéndose hacia el sector central con temperaturas que

oscilaban entre 26.5°C y 26.8°C, lo cual puede explicar la diferencia en el movimiento vertical de las aguas encontrada entre los dos meses en este transecto.

La elevación de aguas en el Perfil Isla Gorgona no solo superó al descenso de aguas en el área que ocupa dentro de este transecto en el mes de junio sino también en la magnitud, ya que el ascenso de aguas se realizó con una velocidad vertical máxima igual a 1104 x cm/s mientras que la velocidad máxima de descenso fue de 207 x cm/s. En octubre se presentó también un ascenso de aguas en toda el área en casi todos los meridianos a excepción del 79°30' W donde el descenso inició a partir de los 10 metros de profundidad. La velocidad vertical varió entre 416 x cm/s en el descenso de aguas y 693 x cm/s en ascenso. Este transecto en el mes de octubre se caracterizó por presentar una elevación de aguas en forma homogénea en los sectores central y oceánico.

Tanto en junio como en octubre de 1996 la elevación de aguas abarcó una gran extensión del transecto Perfil Isla Gorgona y, de acuerdo con las características oceanográficas a nivel superficial presentadas durante junio y octubre en esta región de la Cuenca del Pacífico Colombiano se observó la entrada de aguas oceánicas frías al occidente de este sector y se detectaron temperaturas bajas en los alrededores de la Isla Gorgona localizada al oriente de este transecto sobretodo en el mes de junio. Esto permite recalcar que existe la dependencia entre la presencia de un fenómeno frío y el inicio y desarrollo de un proceso de ascenso de aguas y por consecuencia, de un fenómeno de surgencia en una región determinada.

En el transecto Perfil Tumaco se detectó que la zona de elevación de aguas se localizó en todos los meridianos de hasta los 10 - 25 metros aproximadamente. A partir de estas profundidades el ascenso se concentró entre los meridianos 80° W y 81° W presentando una figura casi similar a la observada en el transecto Perfil Buenaventura en el mes de junio. En octubre se detectó una zona de ascenso de aguas entre los meridianos 79°30' W y 81°00' W. La diferencia entre las magnitudes de la velocidad vertical de ascenso y descenso no fue mucha pero si significativa en comparación con las registradas en los transectos Perfil Buenaventura y Perfil Isla Gorgona tanto en junio como en octubre.

El hecho de que la velocidad vertical del Perfil Tumaco sea tan alta en comparación con los otros dos puede ser debido a que en esta zona se percibe la influencia de corrientes del sector oceánico, como del continente y de la parte sur de la región lo cual puede generar movimientos de encuentro de corrientes que aceleren las velocidades de circulación de las aguas.

En cuanto a la comparación de estos tres perfiles entre los meses junio y octubre es interesante destacar como las velocidades verticales en el mes de junio fueron relativamente más altas que las de octubre. Esto puede estar relacionado con que en el último se registró que en el Pacífico Ecuatorial las características típicas del fenómeno frío retornaban a la normalidad, mientras que en el Pacífico ecuatorial oriental aún se observaban condiciones que inclusive indicaban la continuación de las anomalías negativas de la TSM en el Pacífico ecuatorial central y oriental. En cuanto al Pacífico colombiano se observó una disminución de temperatura superficial del mar de 0.5°C y estas condiciones pueden ser también influyentes en el comportamiento dinámico de las aguas a nivel vertical.

Se observó que tanto para junio como para octubre, la mayor surgencia se presentó en el Perfil de Isla Gorgona, luego estaría el Perfil de Buenaventura y por último el Perfil de Tumaco, donde el ascenso de aguas fue obstruido por descensos en un sector relativamente extenso.

RECOMENDACIONES

Es necesario continuar con el estudio de la dinámica de la Cuenca del Pacífico Colombiano, ya que del entendimiento de la dinámica de las aguas se desprenden infinidad de conceptos y relaciones tanto químicas como biológicas, las cuales dependen del comportamiento dinámico de las aguas.

Es de gran importancia que una de las tareas principales en todo centro de investigación sea la búsqueda de la calidad de datos iniciales, lo cual se logra con la toma de éstos en salidas de campo a corto o largo plazo, con una periodicidad tanto en tiempo como en espacio.

Es conveniente la realización de cálculos del movimiento vertical con los datos obtenidos por la Armada Nacional en los años 70, 80 y 90, con el fin de percibir los cambios en la dinámica vertical a través del tiempo teniendo en cuenta la presencia de las diferentes fases del fenómeno ENOS que hayan ocurrido en cada período de toma de datos.

En Colombia se ha iniciado la etapa de la elaboración de experimentos numéricos, pero la búsqueda de métodos de cálculo de los movimientos verticales, es todavía novedosa. Es por eso que existe la necesidad de continuar con estos estudios en la Cuenca del Pacífico Colombiano con el fin de detectar las zonas de surgencia en nuestra región, corroborando con datos biológicos y químicos.

Es de gran utilidad realizar experimentos numéricos con diferentes métodos de cálculo de la velocidad vertical con el fin de obtener valores de comparación.

BIBLIOGRAFIA

- BOWDEN, K.F. Physical Oceanography of Coastal Waters. Moscú: Mir, 1988, pp. 172 – 197.
- BUBNOV, V.A.. Circulación de las Aguas de la Zona Ecuatorial del Océano. San Petersburgo: Gidrometeoizdat, 1990, pp. 200 - 278.
- BURKOV, B.A. Acerca de los Cambios en las Corrientes Trópico - ecuatoriales del Océano Pacífico. Oceanología. Tomo 32. San Petersburgo: Gidrometeoizdat, 1992, pp. 830 – 846.
- CLIMATE PREDICTION CENTER. Climate Diagnostics Bulletin. Washington, D.C., 1996, (96/1-96/12)
- CPPS. Boletines de Alerta Climático ERFEN. Lima: Marina de Guerra del Perú, 1996, (64 – 75).
- DARONIN, Y.P. Dinámica del Océano. San Petersburgo: Gidrometeoizdat, 1980, pp. 280 – 304.
- GALERKIN, et al. Océano Pacífico. Moscú: Mir, 1982, pp. 300 – 318.
- KAGAN, B.A. Interacción Océano - Atmósfera. San Petersburgo: Gidrometeoizdat. 1992, pp. 125 - 140.

- RUBINOV, A.M. Elementos del Análisis Matemático. Moscú: Mir, 1994, pp. 250 – 279.
- MÁLIKOV, I.A. y VILLEGAS, N.L. Calibración de Datos Oceanográficos Obtenidos en los Cruceros Sobre el Pacífico Colombiano Durante 1970 - 1996. Informe Final. Tumaco, Colombia: Centro Control Contaminación del Pacífico – CCCP, 1997.
- PINEDA, A.R.; VILLEGAS, N.L. et al. Condiciones Hidrológicas y Biológicas en el Pacífico Colombiano y en la Ensenada de Tumaco Durante el Periodo de 1996. Reporte Final. Tumaco, Colombia: Centro Control Contaminación del Pacífico – CCCP, 1996.
- SARKICIAN, A.S., Y.L. DEMINA. Métodos y Resultados de Cálculos de Circulación de las Aguas del Océano Mundial. San Petersburgo: Gidrometeoizdat, 1986, pp. 100 – 152.
- SEMIONOV, B.V. Cálculos de los Movimientos Verticales con Modelos Numéricos de Circulación de las Aguas Oceánicas. Oceanología Tomo XXI. San Petersburgo: Gidrometeoizdat, 1981, pp. 433 - 440.
- SIDORENKOVA, N. Valorización General del Régimen de la Circulación Planetaria Período 1986 - 1990. Monitoreo de Circulación General de la Atmósfera. San Petersburgo: Gidrometeoizdat, 1992, pp. 76 - 93.
- VILLEGAS, N.L. Estudio del Movimiento Vertical de las Aguas en la Región Este de la Cuenca del Pacífico Colombiano. Tesis de grado. San Petersburgo: Instituto Estatal Hidrometeorológico de Rusia, 1995.
- VOLKOV, Y.P. Modelación del Fenómeno EL NIÑO y Procesos Auto - oscilatorios en el Sistema Océano Atmósfera. Revista ANURSS Tomo 16. San Petersburgo: Gidrometeoizdat, 1980, pp. 1179 – 1188.
-